



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión Sistemática: Degradación Fotocatalítica de la Anilina en  
el Tratamiento de Aguas Residuales Textiles**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental**

**AUTORA:**

Medina Rojas, Rebeca (ORCID: 0000-0001-9367-0801)

**ASESOR:**

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

### **Dedicatoria**

A Dios por permitirme culminar esta etapa.  
A mis padres Francisco y Paulina, a mis  
hermanos Rafael, Ronald, Roque y a la Luz  
de mis ojos Briggette quienes son el  
soporte fundamental y razón para cumplir  
todas mis metas, a mis familiares y amigos.

### **Agradecimiento**

Primeramente a Dios. A mis padres y hermanos por su constante apoyo incondicional.

A mi asesor Dr. Túllume Chavesta Milton César. A todos mis docentes por sus sabias enseñanzas y consejos por brindarme durante mi permanencia en la universidad para poder ser profesional con conciencia ambiental.

## **Índice de contenidos**

I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO	13
III. METODOLOGÍA	21
3.1 Tipo y diseño de investigación	21
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	21
3.3 Escenario de estudio	25
3.4 Participantes	25
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.6 Procedimientos	26
3.7 Rigor científico	28
3.8 Método de análisis de información	29
3.9 Aspectos éticos	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Identificación de los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles	29
4.2 Análisis de los efectos de la fotocatálisis homogénea y heterogénea de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles	39
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	60

## Índice de tablas

Tabla 1. Datos de la anilina	20
Tabla 2. Matriz de categorización apriorística	22
Tabla 3. Criterios de búsqueda	27
Tabla 4. Concentración inicial de la anilina en la degradación fotocatalítica	30
Tabla 5. Concentración o dosis del catalizador en la degradación fotocatalítica de la anilina	31
Tabla 6. Concentración inicial o dosis de $H_2O_2$ en la degradación fotocatalítica de la anilina	33
Tabla 7. pH inicial en la degradación fotocatalítica de la anilina	34
Tabla 8. Tiempo de tratamiento en la degradación fotocatalítica de la anilina	35
Tabla 9. Concentración inicial o dosis del aceptor de electrones (PS) en la degradación fotocatalítica de la anilina	36
Tabla 10. Fuente de energía en la degradación fotocatalítica de la anilina	37
Tabla 11. Tipos de catalizador (semiconductor) en la degradación fotocatalítica de la anilina	38
Tabla 12. Temperatura en la degradación fotocatalítica de la anilina	39
Tabla 13. Tipos de catalizador (semiconductor) en la degradación fotocatalítica homogénea de la anilina	40
Tabla 14. Tipos de catalizador (semiconductor) en la degradación fotocatalítica heterogénea de la anilina	41

## **Índice de figuras**

Figura 1. Tipos de procesos de oxidación avanzada	13
Figura 2. Efectos de la fotocatálisis homogénea de la degradación de la anilina	40
Figura 3. Efectos de la fotocatálisis heterogénea de la degradación de la anilina	42

## Índice de abreviaturas

COT	
Carbón Orgánico Total	18, 24, 39, 40, 44
DQO	
Demanda Química de Oxígeno	18, 19, 71
DBO	
Demanda Biológica de Oxígeno	19
EC	
Contaminantes Emergentes	10
POA	
Procedimiento de oxidación avanzada	12
PS	
Per -sulfato	35, 36

## Resumen

El tipo de investigación es cualitativa y no experimental, el objetivo fue determinar que la degradación fotocatalítica de la anilina mejora el tratamiento de aguas residuales textiles, para lo cual se revisó sistemáticamente 20 artículos científicos relacionados a la degradación de la anilina con la fotocatálisis homogénea y heterogénea, no se consideró otros procesos de oxidación avanzada como ozonización, ultrasonido y oxidación electroquímica.

En base la información, con la fotocatálisis homogénea se logra una decoloración y degradación de la anilina de  $95.00 \pm 0.00\%$  y  $61.00 \pm 27.06\%$ , respectivamente. Respecto a la fotocatálisis heterogénea, la decoloración, mineralización y degradación de la anilina es  $95.00 \pm 0.00\%$ ,  $88.99 \pm 1.29\%$  y  $82.87 \pm 6.00\%$ , respectivamente.

De las conclusiones, los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina son la concentración inicial de la anilina, concentración o dosis del catalizador, concentración inicial de  $H_2O_2$ , pH, tiempo de tratamiento y tipo de catalizador. También que el efecto de la fotocatálisis homogénea y heterogénea es que degrada la anilina y mejora significativamente el tratamiento de aguas residuales textiles.

**Palabras clave:** anilina, degradación, fotocatálisis, homogénea, heterogénea.



## Abstract

The type of research is qualitative and not experimental, the objective was to determine that the photocatalytic degradation of aniline improves the treatment of textile wastewater, for which 20 scientific articles related to the degradation of aniline with homogeneous photocatalysis were systematically reviewed. heterogeneous, other advanced oxidation processes such as ozonization, ultrasound and electrochemical oxidation were not considered.

Based on the information, with the homogeneous photocatalysis a discoloration and degradation of the aniline of  $95.00 \pm 0.00\%$  and  $61.00 \pm 27.06\%$ , respectively, is achieved. Regarding heterogeneous photocatalysis, the discoloration, mineralization and degradation of aniline is  $95.00 \pm 0.00\%$ ,  $88.99 \pm 1.29\%$  and  $82.87 \pm 6.00\%$ , respectively.

From the conclusions, the main aspects in the photocatalytic degradation of aniline are the initial concentration of aniline, concentration or dose of the catalyst, initial concentration of  $H_2O_2$ , pH, treatment time and type of catalyst. Also that the effect of homogeneous and heterogeneous photocatalysis is that it degrades aniline and significantly improves the treatment of textile wastewater.

**Keywords:** aniline, degradation, photocatalysis, homogeneous, heterogeneous.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua constituye un problema ambiental, debido a la descarga directa de aguas residuales, de las actividades industriales y el aumento poblacional (Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina, 2016, p. 190).

El número creciente de productos o sustancias químicas para cumplir los objetivos económicos y sociales de la comunidad mundial han demostrado ser resistentes a los tratamientos biológicos convencionales en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. Los "contaminantes emergentes" (EC), son consecuencia la acumulación de compuestos en pequeñas concentraciones de cuerpos de aguas, ya que representaría un riesgo eminente para la salud humana y los ecosistemas naturales. Se fueron analizando los EC durante los últimos 20 años, los métodos analíticos se fueron desarrollando, posteriormente, ya que fueron lo suficientemente sensibles donde sus bajos niveles de concentración fueron detectados (A. Durán et al., 2018a, p. 122).

La industria consume entre 5 a 20% del agua disponible y a su vez genera una significativa contaminación de las aguas (Brañez Sánchez et al., 2018, p. 130) residuales generadas por la industria textil que contienen considerables cantidades de colorantes, se ha reportado la presencia de algunos colorantes en concentraciones de 1 ppm o en menor concentración que son claramente visibles, de modo que remover el color al agua en ocasiones es más importante que la remoción de otro tipo de compuestos. La descarga de este tipo de efluentes en los mantos freáticos ha generado considerables daños a la flora y fauna silvestre debido a la toxicidad y gran resistencia de los colorantes a la biodegradabilidad (Deza Martí, 2017, p. 18). Del mismo modo, la industria textil artesanal es un sector muy fragmentado y heterogéneo, formado principalmente por pequeñas y medianas empresas, dichas industrias se caracterizan porque generan y descargan libremente aguas residuales con alto grado de contaminación los cuales se caracterizan generalmente por su elevada demanda química de oxígeno, elevada temperatura, alto contenido en color, pH inestable, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos clorados, que impactan considerablemente al medio ambiente. (Maldonado Rubio et al., 2015, p. 18)

La anilina también conocida como (fenilamina) es un compuesto orgánico líquido ( $C_6H_5NH_2$ ) utilizado para fabricar una amplia variedad de productos: químicos agrícolas, herbicidas, espuma de poliuretano explosivo, antioxidante, estabilizante para la industria del caucho, barnices y pinturas sintéticas (Rappoport, 2007, p. 721). Es un contaminante persistente producido comúnmente como un subproducto de las industrias del petróleo, papel, carbón y química. También se forma durante la degradación del agua que contiene antipirina, por lo tanto, requiere un tratamiento adicional antes de la eliminación. (A. Durán et al., 2018a, p. 122)

Por otro lado, los contaminantes orgánicos se liberan continuamente al medio ambiente con un rápido desarrollo de la industrialización y urbanización. Entre los contaminantes tóxicos presentes en las aguas residuales, la anilina es un compuesto tóxico ampliamente utilizado como mediador en la síntesis de productos farmacéuticos, colorantes, antioxidantes, poliuretanos, aditivos de caucho, pesticidas y herbicidas (Jiang et al., 2016, p. 609). La descarga anual estimada de anilina en el medio ambiente es de 30,000 toneladas por descarga ilegal de aguas residuales municipales e industriales, uso excesivo de pesticidas y fugas accidentales (Benito et al., 2017, p. 230). Por ello, la anilina es perjudicial para los seres humanos y la vida acuática porque es bio-refractaria, mutagénica, carcinógena, tóxica y potencialmente mortal. Asimismo, la anilina ha sido catalogado como uno de los 129 contaminantes prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EE.UU. EPA) (X. Li et al., 2016, p. 43; Xie et al., 2012, p. 821). Por lo tanto, es necesario un método nuevo y efectivo para degradar la anilina en solución acuosa. (Hussain et al., 2018, p. 130)

En el país existen muchas industrias textiles (46000) que generan mas de 700000 empleos y exportaciones superiores a 1400 millones de dólares; entre las tres más importantes tenemos a Michell y Cía, Creditex/De Cervesur, Devanlay Perú, Sudamericana de Fibras. En muchos lugares del país, existen muchas empresas textiles que son mayormente artesanales, involucra que son talleres pequeños donde realizan el teñido de las fibras con diversos colorantes, entre ellos la anilina. En las aguas residuales de estos efluentes textiles están presentes compuestos orgánicos y sintéticos, los que deben ser degradados porque impactan negativamente el medio ambiente.

En la presente revisión sistemática se pretende analizar la degradación de la anilina presente en las aguas residuales mediante la fotocatálisis homogénea y heterogénea. Respecto a la realidad problemática se formula el siguiente problema general: ¿En qué medida la degradación fotocatalítica de la anilina influye en el tratamiento de aguas residuales textiles? y los problemas específicos son: ¿Cuáles son los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles? y ¿Cuáles son los efectos de la fotocatálisis homogénea y heterogénea de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles?

El vertimiento de las aguas residuales textiles necesita una atención inmediata, debido a las actividades antrópicas, está degradando los recursos naturales por el vertimiento de efluentes sin tratamiento, se debe emplear nuevas alternativas tecnológicas económicas que permitan solucionar este gran problema, algunos estudios demuestran que la fotocatálisis tiene buenos resultados en el tratamiento de efluentes textiles. En la actualidad los tratamientos de éstas aguas residuales son costosos y en algunos casos generan subproductos más contaminantes, por lo que la fotocatálisis es una opción favorable para degradar los contaminantes presentes en los efluentes textiles. En estos últimos años, los procesos de oxidación avanzada (POA), como la fotocatálisis heterogénea y homogénea, son considerados una alternativa tecnológicamente novedosa y viable para el tratamiento de las aguas residuales textiles (Garcés Giraldo et al., 2004, p. 84), donde para maximizar su potencial es necesario conocer los parámetros que influyen en la velocidad de reacción, diseño y optimización del reactor.

La presente investigación tiene como objetivo general: Determinar que la degradación fotocatalítica de la anilina mejora el tratamiento de aguas residuales textiles. Asimismo, los objetivos específicos son: Identificar los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles, y analizar los efectos de la fotocatálisis homogénea y heterogénea de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles.

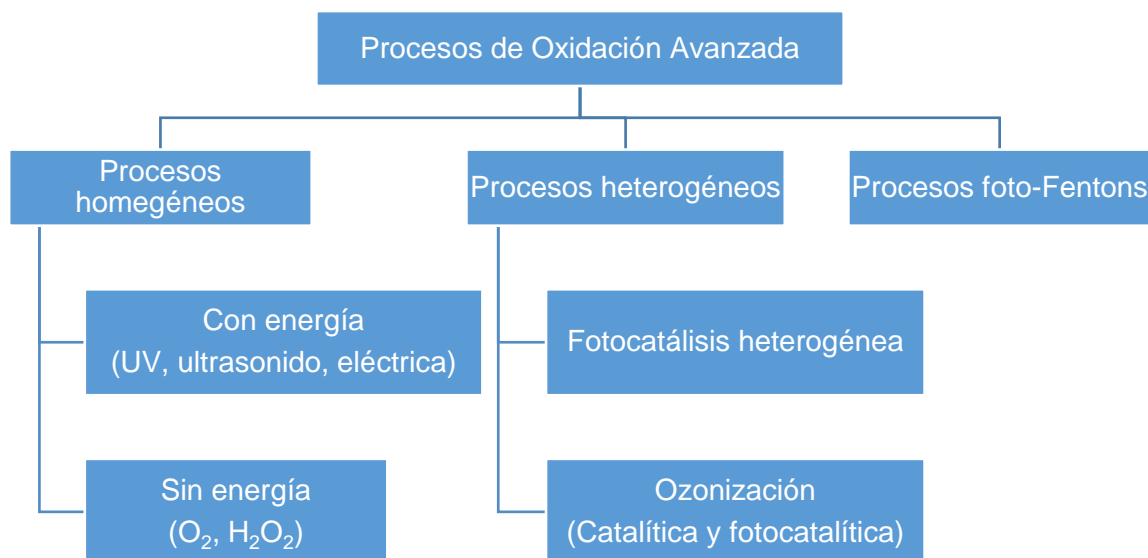
## II. MARCO TEÓRICO

Los procesos avanzados de oxidación (POA) o procesos de oxidación avanzada donde se generan radicales hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) se utilizaron frecuentemente en el tratamiento de aguas residuales con contaminantes de difícil degradación (Brillas, Sirés, & Oturan, 2009, p. 6572; Komtchou, Dirany, Drogui, Robert, & Lafrance, 2017, p. 4; Nidheesh, Zhou, & Oturan, 2018, p. 211).

Estos procesos generan en el tratamiento especies altamente reactivas y oxidantes para la mineralización de compuestos orgánicos refractarios o recalcitrantes, patógenos del agua y subproductos de desinfección (Esplugas, Giménez, Contreras, Pascual, & Rodríguez, 2002, p. 1034; Pera-Titus, García-Molina, Baños, Giménez, & Esplugas, 2004, p. 219). (Loddo et al., 2018, p. 2)

Considerando la fase reactiva se clasifican en homogénea y heterogénea, en función a los métodos o formas de producción de radicales hidroxilo (químico, electroquímico, sonoquímico y fotoquímico). (Ortiz et al., 2019, p. 161)

Figura 1. *Tipos de procesos de oxidación avanzada*



Fuente: (S. H. Khan & Pathak, 2020, p. 14)

Se sabe que los POA son altamente competitivos para la degradación de colorantes presentes en aguas residuales y que solo utilizan métodos convencionales por su alta estabilidad química, toxicidad y baja biodegradabilidad. (Atalay & Ersöz, 2021, p. 210)

La fotocátalisis es uno de POA eficaces y competentes que se utiliza para desintoxicar los contaminantes emitidos por los diversos procesos industriales con residuos insignificantes. (Pathania et al., 2020, p. 167)

En la fotocátalisis se produce una reacción química que es inducida por la absorción de fotones por parte del material sólido conocido como fotocatalizador (Ohtani, 2011, p. 397). Este material no cambia su estructura química en la reacción.

Por lo general, la fotocátalisis involucra cinco pasos (Herrmann, 1999, p. 115): transferencia de contaminantes a la superficie del fotocatalizador, adsorción de contaminantes en la superficie, desorción del producto de reacción, activación fotónica y descomposición de moléculas adsorbidas, y eliminación de los productos de reacción de la superficie del fotocatalizador. (Rueda-Marquez et al., 2020, p. 6)

La radiación solar contiene luz UV y la fotocátalisis requiere de esta energía, por lo cual la utilización de esta fuente natural en las reacciones químicas fotocatalíticas es un enfoque fascinante (Fu, Yu, Jiang, & Cheng, 2018, p. 1; Abroshan, Farhadi, & Zabardasti, 2018, p. 154; Raj et al., 2015, p. 3083). Las reacciones se producen a condiciones ambientales, como disolvente el agua y agente oxidante el oxígeno. Tenemos fotocátalisis homogénea y heterogénea (S. Kim et al., 2004, p. 6402), la heterogénea presenta diversas ventajas por lo que se ha investigado ampliamente, como alta eficiencia, reutilización, fuerte absorbancia de UV–fotones infrarrojos visibles (Meng et al., 2018, p. 247). (Sakthivel, Huang, Wu, & Rtimi, 2020, p. 2)

El tratamiento de contaminantes orgánicos contenidos en aguas residuales mediante fotocátalisis utilizando luz solar es un tema de especial interés. (Antonio Durán et al., 2019, p. 2)

La fotocátalisis heterogénea utiliza catalizadores (semiconductores) que han demostrado su eficacia en transformar diversos contaminantes tóxicos difíciles de degradar en compuestos biodegradables y luego mineralizarlos en dióxido de carbono y agua (Turchi & Ollis, 1990, p. 178). Se denomina fotocátalisis heterogénea por las dos fases presentes, el catalizador en fase sólida y los contaminantes en fase acuosa, y para la reacción redox y consecuente degradación requiere una fuente de luz (radiación UV/solar). Son diversos los catalizadores que se utilizan, entre ellos tenemos al  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZnS}$  y  $\text{CdS}$ . (Ibhadon & Fitzpatrick,

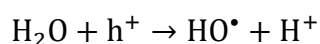
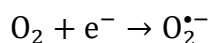
2013, p. 193; Fujishima, Zhang, & Tryk, 2007, p. 2664). (S. H. Khan & Pathak, 2020, pp. 4–5)

El proceso de fotocátalisis heterogénea requiere la realización de tres elementos: Un fotón emitido a la longitud de onda correspondiente; un catalizador, generalmente un material semiconductor, y un oxidante fuerte que generalmente será oxígeno.

El proceso comienza cuando un fotón con un nivel de energía igual o mayor que la brecha de energía del catalizador (que es la diferencia entre la energía de la banda de valencia llena de electrones y la de la banda de conducción que está vacía) incide sobre el sólido. Por lo tanto, los electrones móviles pueden acceder a la banda de conducción, dejando huecos positivos en la banda de valencia.



El par electrón-hueco puede recombinarse o reaccionar. En el caso de la presencia de moléculas que pueden actuar como aceptores de electrones, como el oxígeno, pueden reaccionar con el electrón para evitar la recombinación y así superar el inconveniente de este método de tratamiento, y el hueco positivo conducirá a la formación de radicales hidroxilo.



El catalizador es un semiconductor, por lo que su conductividad eléctrica está entre un aislante y conductor. Su propiedad fotoelectrónica se caracteriza por su estructura de bandas de energía. (Y. Li et al., 2019, p. 691)

El catalizador debe ser un semiconductor químicamente inerte, activo desde el punto de vista catalítico y fácil de producir y utilizar. El catalizador más utilizado es el  $TiO_2$ , particularmente el tipo Degussa P25, que básicamente es la forma cristalina denominada anatasa y conocida como octaedrita. (Ortiz et al., 2019, pp. 185–186)

Los primeros tratamientos e investigaciones con la fotocátalisis heterogénea fueron con partículas de  $TiO_2$  y la recuperación del catalizador representó un gran problema, para superar ello se inmovilizó el  $TiO_2$  en películas delgadas, así también presentan alta estabilidad mecánica y pueden ser reutilizados en el tratamiento. (S. Khan et al., 2019, p. 155)

El  $\text{TiO}_2$  es un catalizador adecuado y ampliamente utilizado por su bajo precio, actividad fotocatalítica alta, considerable fotoestabilidad y no toxicidad (Katal et al., 2019, p. 1; Sajan, Wageh, Al-Ghamdi, Yu, & Cao, 2016, p. 3).

La principal desventaja y limitante de la utilización del catalizador  $\text{TiO}_2$ , es la recombinación de los pares electrón-hueco fotogenerados en el proceso de degradación de los contaminantes. (Katal et al., 2020, p. 3)

La brecha de energía de las dos fases cristalinas del  $\text{TiO}_2$ , anatasa y rutilo, es relativamente amplia (3.2 y 3.0 eV), por lo que solo absorbe luz UV de alta energía (longitudes de onda  $< 387$  nm). Por ello requieren fuentes de luz UV en las reacciones redox con  $\text{TiO}_2$  porque el contenido de rayos UV de la radiación solar es bajo. De hecho, la luz solar consta de ~5% UV ( $\lambda = 200\text{-}400$  nm), ~43% de luz visible ( $\lambda = 400\text{-}800$  nm) y ~52% de infrarrojos ( $\lambda > 800$  nm). Este hecho también es una limitante que actualmente se intenta resolver mediante el desarrollo de fotocatalizadores sensibles a la luz visible con alta actividad y selectividad para síntesis orgánicas en condiciones del medio ambiente. (García-López et al., 2019, p. 154)

Como se indicó anteriormente, la recombinación de los pares electrón-hueco fotogenerados reducen significativamente la eficiencia de la fotocatálisis con  $\text{TiO}_2$ . Para superar este fenómeno se agrega sustancias que se comportan como aceptores de electrones, entre ellos tenemos al  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ , de esta forma se incrementa la disponibilidad de huecos en el medio y facilitando su participación en la generación de especies de oxígeno reactivas (Mills & Valenzuela, 2004, p. 26; Bekkouche, Merouani, Hamdaoui, & Bouhelassa, 2017, p. 6). (Monteagudo, Durán, Martín, et al., 2020, p. 2)

La tendencia es encontrar semiconductores (catalizadores) con mejores propiedades para la degradación de los contaminantes. Por lo que los tipos de semiconductores desarrollados son:

1. Semiconductor puro. Son aquellos en la que su estructura electrónica y propiedades básicas puros son relativamente simples a comparación de los semiconductores compuestos o dopados.
2. Semiconductor dopado por elementos. Con el dopaje de elementos se mejora la absorción espectral y eficiencia fotoeléctrica debido a que se podría formarse un nivel donante más cercano a la banda de conducción en los semiconductores y,



por ende, la brecha de energía reducirse y el rango de adsorción de luz podría ampliarse a la región visible.

3. Semiconductor soportado por materiales porosos. Los catalizadores con tamaños menores a 100 nm (nanopartículas) presentan excelentes actividades fotocatalíticas para la degradación de contaminantes orgánicos en efluentes, por la mayor área de superficie específica respecto a los materiales a granel. Pero no todo fue positivo, debido a que investigadores encontraron que algunas moléculas de los contaminantes orgánicos o productos intermedios pueden producir la coagulación del polvo nanosemiconductor en la reacción fotocatalítica, provocando la reducción del área de superficie de reacción y la actividad fotocatalítica. También, la separación de nanopartículas semiconductoras de la solución acuosa es difícil (Wu et al., 2015, p. 50). Si se decide utilizar nanopartículas, es importante recuperar y reutilizar estos semiconductores. Estos inconvenientes limitan su aplicación real en el tratamiento de aguas residuales. Por ello, se han investigado y desarrollado semiconductores soportados por materiales porosos.

Las ventajas de impregnar nanopartículas semiconductoras en un soporte poroso son en fundamentalmente en los siguientes aspectos. Primero, este método puede aprovechar al máximo las ventajas de las nanopartículas. Además, la reflexión y dispersión de la luz resultantes de la estructura porosa son beneficiosas para la captación de luz. Además, el uso de material de soporte facilita la recuperación y reutilización del fotocatalizador semiconductor después de cada ciclo de degradación fotocatalítica. Después de varias décadas de desarrollo, varios sustratos como zeolitas microporosas (Bhattacharyya et al., 2004, p. 431), sílices mesoporosas (López-Muñoz et al., 2005, p. 307), arcillas de alúmina y carbón activado se han empleado como soportes de nanopartículas semiconductoras (Li Puma et al., 2008, p. 211) (Y. Li et al., 2019, pp. 691–694)

Los últimos avances en fotocatálisis heterogénea se enfocaron en el control selectivo de la morfología de los nanomateriales, dopaje de elementos, diseño de reactores fotocatalíticos y soporte de material poroso. Pero, persistente los desafíos de desarrollar materiales nanosemiconductores con excelentes propiedades para la degradación de los contaminantes. Otros aspectos que se consideran al desarrollar o diseñar un catalizador estable y eficiente son: arquitectura morfológica, elección

de materiales semiconductores y propiedades de la superficie que influyen en la fotocatalisis. (Y. Li et al., 2019, p. 701)

A nivel mundial, la mayor preocupación es el grado de contaminación de las aguas residuales generadas por las industrias cuya evaluación y caracterización oportuna es necesaria en el momento. El agua vertida sin tratamiento en países principalmente subdesarrollados está impactando negativamente el medio ambiente. (Rani et al., 2019, p. 97)

El primer objetivo de cualquier tratamiento de aguas residuales es la eliminación de los compuestos objetivo que se encuentran en el efluente. Sin embargo, el objetivo final a considerar debe ser su mineralización completa. Durante el tratamiento, el contaminante objetivo se puede convertir en otros compuestos que pueden ser más dañino. Por ello, es importante no solo evaluar la desaparición del contaminante objetivo sino los parámetros globales como el carbono orgánico total (COT) o, al menos, la demanda química de oxígeno (DQO) para asegurar que el carbono orgánico se haya convertido en CO<sub>2</sub>. (Ortiz et al., 2019, p. 162)

La industria textil es probablemente el sector más industrializado de la industria manufacturera y los usos finales se ven en la ropa, muebles para el hogar y usos industriales. Diversas empresas que producen materias primas, productos semielaborados y finales, forman parte de la industria textil. Esta industria implica la agricultura para las fibras naturales, industria química para las fibras sintéticas y otros sectores que fabrican fibras ópticas, bolsas de aire, aislantes, materiales para techos y filtros. (Senthil Kumar & Grace Pavithra, 2019, p. 21)

La industria textil utiliza gran cantidad de agua en sus diversas operaciones, principalmente en la aplicación de productos químicos y enjuague de los textiles manufacturados (Ntuli et al., 2009, p. 1). Por ello genera grandes cantidades de aguas residuales con composición altamente variable en la tintura y procesos de acabado. Los contaminantes incluyen diversos colorantes residuales de diversa naturaleza, productos químicos auxiliares y una variedad de subproductos, por lo que el agua es muy coloreada, alcalina y, aumenta su DBO, sólidos en suspensión y temperatura (U.S. EPA, 1997). La composición del agua residual vertida por la industria textil está muy lejos del estándar, incluso varía si la industria es pequeña

o gran, y contamina significativamente el medio ambiente, incluido el suelo superficial y cuerpos de agua. (Rani et al., 2019, p. 90)

Las aguas residuales de esta industria contienen diversos contaminantes que se caracterizan por presentar altos valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión, color, toxicidad y turbidez. (Zazou et al., 2019, p. 214)

Los colorantes son sustancias coloreadas unidas químicamente a un sustrato aplicado y, por tanto, transmiten un color deseado a ese material. La unión química (solidez) del colorante con el sustrato se puede mejorar utilizando un mordiente. (Roy & Saha, 2021, p. 127)

Los colorantes se pueden clasificar según sus estructuras cromóforas en colorantes ácidos, básicos, reactivos, azo, dispersos, diazo y antraquinónicos. Considerando las diferencias en su estructura, tenemos a los colorantes catiónicos, aniónicos o no iónicos (Su, Low, Teng, & Wong, 2016, p. 3618; Robinson, McMullan, Marchant, & Nigam, 2001, p. 247). (Atalay & Ersöz, 2021, p. 209)

También se pueden clasificar a los colorantes considerando su origen, los que son los colorantes naturales y sintéticos. (Gürses et al., 2021, p. 136)

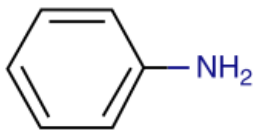
Los colorantes, en particular los nitrogenados, poseen estructuras aromáticas complejas. Por ello su degradación es difícil y no es eficaz con los métodos de tratamiento biológico convencionales. Ahí surge la necesidad de utilizar y desarrollar otros tratamientos que puedan decolorar las aguas residuales textiles (Ghalebizade & Ayati, 2016, p. 192; K. H. Kim & Ihm, 2011, p. 17). (Collivignarelli et al., 2019, p. 727)

La anilina fue producida por primera vez en 1826 por Otto Unverdorben mediante la destilación destructiva de índigo, el primer uso industrial fue como colorante púrpura, Mauveine, formulado accidentalmente por William Henry Perkin en un intento de aislar la quinona. (Gad, 2014, p. 240)

En la industria petroquímica, la anilina es un compuesto importante y se utiliza principalmente en la síntesis de isocianato, un intermedio para la fabricación de poliuretano. Sus derivados también son precursores clave para la producción de aceleradores y antioxidantes en la industria del caucho, herbicidas y farmacéuticos (Chen & Huang, 2015, p. 175). (Benito et al., 2017, p. 230)

Tabla 1

*Datos de la anilina*

Sinónimos	Fenilamina; Aminobenceno; Aceite azul
Fórmula molecular	$C_6H_7N$
Estructura química	

Fuente: (Gad, 2014, p. 240)

Las aguas residuales de las industrias que producen aceleradores de vulcanización, textiles, pesticidas y colorantes, y otros, contienen anilina con diferentes niveles de concentraciones (Ferreiro et al., 2019, p. 1282).

La anilina presenta efectos tóxicos, cancerígenos y mutágenos significativos tanto en la vida silvestre como en los humanos. (Cui et al., 2017, p. 86)

Debido a las propiedades cancerígenas y toxicidad ecológica severa, la anilina ha sido catalogada como contaminante prioritario por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y también está sujeta al control legislativo de los gobiernos de Europa y China (Gang et al., 2019, p. 841; Zhang, Zhang, Liu, & Liu, 2008, p. 717). Por lo tanto, es una necesidad la degradación de la anilina de las aguas residuales para cumplir con las normas de calidad del agua que cada día son más estrictas. (Xue et al., 2020, pp. 1–2)

En el Anexo 1 se presenta los antecedentes de la investigación, se consideraron 20 artículos de investigación que se refieren trabajos previos sobre el tema en estudio.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación se considera básica ya que está orientada a la búsqueda de nuevos conocimientos y nuevos campos de investigación sin un fin práctico específico e inmediato (Oseda et al., 2015, p.160) Aumentaría los conocimientos teóricos para el progreso de una determinada ciencia.

El diseño de investigación es cualitativo narrativo de tópicos, ya que se enfoca en acontecimientos, fenómeno o suceso en donde se pretende entender los procesos o eventos que involucran pensamientos, testimonios e interacciones, mediante la vivencia contada por las personas que lo experimentan, donde regularmente la recolección de datos se da a través de entrevistas, documentos, artículos o imágenes (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 488). Así mismo el nivel cualitativo narrativo busca recolectar datos sobre experimentos realizados por determinadas personas para describirlas, analizarlas y explicarlas con respecto a otras en un momento dado.

#### **3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística**

La categorización de la investigación considera los objetivos específicos, porque genera las categorías de estudio y brinda la secuencia de presentación de los resultados. Mientras que las subcategorías ayudan y facilitan la explicación de los datos.

En la tabla siguiente se presenta la matriz de categorización apriorística a seguir en la investigación:

Título: Revisión sistemática: Degradación fotocatalítica de la anilina en el tratamiento de aguas residuales textiles.

Objetivo General: Determinar que la degradación fotocatalítica de la anilina mejora el tratamiento de aguas residuales textiles.

Tabla 2

*Matriz de categorización apriorística*

Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Identificar los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles	¿Cuáles son los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles?	Factores que influyen	Concentración inicial de la anilina	Jin et al., 2020, p. 8; Pirsahab et al., 2017, p. 9; Ahmadi et al., 2017, p. 49; Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 320; Huang et al., 2014, p. 4; Tang et al., 2010, p. 979.
			Concentración (dosis) del catalizador	Xie et al., 2021, p. 232; Monteagudo et al., 2020, p. 3; Jin et al., 2020, p. 9; J. Liu et al., 2020, p. 575; Yan et al., 2020, p. 12; Antonio Durán et al., 2019, p. 3; Gang et al., 2019, p. 843; A. Durán, Monteagudo, San Martín, & Merino, 2018, p. 127; Ahmadi et al., 2017, p. 49; Y. Liu et al., 2016, p. 370; Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 319; Flores et al., 2015, p. 193; Huang et al., 2014, p. 4.
			Concentración inicial de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Monteagudo et al., 2020, p. 5; Gang et al., 2019, p. 843; A. Durán et al., 2018, p. 124; Ahmadi et al., 2017, p. 49; Y. Liu et al., 2016, p. 371; Flores et al., 2015, p. 192.
			pH	Xie et al., 2021, p. 233; Monteagudo et al., 2020, p. 5; J. Liu et al., 2020, p. 576; Yan et al., 2020, p. 13; Jin et al., 2020, p. 11; Gang et al., 2019, p. 843; A. Durán, Monteagudo, San Martín, & Merino, 2018, p. 124; Pirsahab et al., 2017, p. 9; Y. Liu et al., 2016, p. 371; Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 319; Huang et al., 2014, p. 4; Shahrezaei et al., 2012, p. 3;

				Anotai, Amomrat, Yu-Ming, & Ming-Chun, 2012, p. 134; Tang et al., 2010, p. 980.
			Tiempo de tratamiento	Monteagudo et al., 2020, p. 6; Vásquez et al., 2020, p. 7 ; A. Durán et al., 2018, p. 125; Pirsahab et al., 2017, p. 9; Ahmadi et al., 2017, p. 49; Szczepanik & Słomkiewicz, 2016, p. 35; Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 321; Shahrezaei et al., 2012, p. 4; Anotai et al., 2012, p. 134.
			Aceptores de electrones	Monteagudo et al., 2020, p. 4; Yan et al., 2020, p. 10; Durán et al., 2019, p. 6.
			Fuente de energía	Monteagudo et al., 2020, p. 4; Vásquez et al., 2020, p. 5; Durán et al., 2019, p. 6; A. Durán et al., 2018, p. 126; Szczepanik & Słomkiewicz, 2016, p. 34; Flores et al., 2015, p. 192; Shahrezaei et al., 2012, p. 4.
			Tipo de catalizador	Antonio Durán et al., 2019, p. 3; Ma et al., 2018, p. 311; Szczepanik & Słomkiewicz, 2016, p. 35; Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 320; Anotai et al., 2012, p. 133.
			Temperatura	Jin et al., 2020, p. 10; J. Liu et al., 2020, p. 577; Y. Liu et al., 2016, p. 370; Shahrezaei et al., 2012, p. 3.
Analizar los efectos de la fotocátalisis homogénea y	¿Cuáles son los efectos de la fotocátalisis	Tipo de fotocátalisis: homogénea y heterogénea	Decoloración del agua residual	Vásquez et al., 2020, p. 15; Flores et al., 2015, p. 192.
			Mineralización de la anilina o	Monteagudo et al., 2020, p. 8; Durán et al., 2019, p. 4; A. Durán et al., 2018, p. 129; Ma et al., 2018, p. 311.

heterogénea de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles.	homogénea y heterogénea de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles?		eliminación del COT	
			Degradación de la anilina	Xie et al., 2021, p. 233; Yan et al., 2020, p. 12; Jin et al., 2020, p. 11; J. Liu et al., 2020, p. 576; Gang et al., 2019, p. 843; Durán et al., 2019, p. 4; A. Durán et al., 2018, p. 126; Szczepanik & Słomkiewicz, 2016, p. 36; Y. Liu et al., 2016, p. 370; Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 319; Shahrezaei et al., 2012, p. 4; Anotai et al., 2012, p. 135; Tang et al., 2010, p. 979.

Fuente: Elaboración propia



### **3.3 Escenario de estudio**

La investigación no tiene un escenario específico de estudio, debido a que se trata de una revisión bibliográfica de artículos científicos, capítulo de libros, libros, tesis de pregrado y posgrado publicados a nivel nacional e internacional respecto a la degradación fotocatalítica de la anilina en el tratamiento en aguas residuales textiles.

### **3.4 Participantes**

Para la realización de la investigación se recopiló básicamente artículos científicos y capítulos de libros en diversas bases de datos de búsqueda científica o bibliotecas electrónicas, entre las más principales tenemos: ScienceDirect, Scopus, Scielo, Dialnet, Redalyc y WorldWideScience. También se utilizó información de libros y tesis de pregrado y posgrado nacionales e internacionales.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Un instrumento de recolección de datos es un recurso que el investigador utiliza para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información, así los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recopilar y almacenar la información. Entre ellos tenemos a las fichas, formatos de cuestionario, guías de entrevista, escalas de actitudes u opinión. La recolección de información o datos consiste en recolectar datos referentes a los atributos, variables de las unidades de muestreo, conceptos y análisis. La Recolección de datos implica en reunir datos con un propósito específico para elaborar un plan. (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 198). Por otra parte, la información relacionada a la degradación fotocatalítica de la anilina en aguas residuales textiles, se realizó en base a una Ficha de análisis de contenido como se muestra en el Anexo 2, que está constituido por dos partes. La primera de características generales de los artículos: i) Año de publicación; ii) Lugar de publicación; iii) Páginas del contenido extraído; iv) Tipo de investigación; v) Autor (es); vi) Palabras claves. La segunda parte de hace referencia al contenido seleccionado del artículo, como vii) Cuales son principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina; viii) Efectos de la fotocatálisis homogénea y heterogénea de la anilina x) Resultados y xi) Conclusiones.

### 3.6 Procedimientos

En las bases de datos o bibliotecas electrónicas mencionadas se realizó la búsqueda con las siguientes palabras claves en inglés o su traducción en español: “aniline”, “degradation”, “catalytic”, “photocatalysis”, “heterogeneous photocatalysis”, “homogeneous photocatalysis”, “Fenton” y “TiO<sub>2</sub>”. Los filtros utilizados en el orden respectivo son: Tiempo (últimos 5 años), artículos científicos, artículos de revisión, capítulos de libros y libros. Excepcionalmente se consideró algunos artículos con una antigüedad de publicación de 10 años. Para las tesis de pregrado y posgrado se utilizó buscador como el Google Scholar o se accedió a repositorios.

Se excluyó a los artículos científicos que no presenten relación al tema de investigación, a aquellos que involucran otros procesos de oxidación avanzada (POA) (como ozonización, ultrasonido y oxidación electroquímica), a otros colorantes diferentes a la anilina y aquellos que son de base de datos no o poco confiables. Para ello se realizó la lectura del resumen y conclusiones del artículo científico.

En la Tabla 3 se presenta los criterios de búsqueda aplicados en la recopilación de información.

Tabla 3

*Criterios de búsqueda*

<b>Tipo de documento</b>	<b>Documentos referidos a</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Palabras clave de búsqueda</b>	<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
<b>Artículos científicos o de revisión</b>	Degradación fotocatalítica de la anilina. Degradación o fotodegradación de anilina. Eliminación de anilina. Degradación oxidativa de anilina. Oxidación de anilina.	83	Aniline photocatalysis degradation catalytic TiO <sub>2</sub> heterogeneous photocatalysis homogeneous photocatalysis Fenton	Revistas indexadas e información menor a 10 años.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• no presenten relación al tema.</li> <li>• Otros POA.</li> <li>• Otros colorantes diferentes a la anilina.</li> <li>• Base de datos no o poco confiables.</li> </ul>
<b>Libro o capítulos de libro</b>	Aguas residuales. Tratamiento de aguas residuales textiles. Fotocatálisis homogénea y heterogénea. Anilina.	2	Aniline heterogeneous and/or homogeneous photocatalysis Fotocatálisis homogénea y/o heterogénea. Anilina.	Información menor a 10 años y fuentes confiables	Libros en bases de datos no confiables
<b>Tesis</b>	Degradación fotocatalítica de la anilina. Fotocatálisis homogénea o heterogénea.	3	Anilina fotocatálisis degradación fotocatálisis heterogénea o homogénea Fenton	Universidad nacional e internacional. Información menor a 5 años.	Universidades no licenciadas. Tesis que excedan los 5 años de antigüedad.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7 Rigor científico

El rigor científico para el presente estudio de investigación, de tipo cualitativo narrativo de tópicos cumple los siguientes: Dependencia, Credibilidad, Transferencia, Fundamentación, Autenticidad:

a) Dependencia: Este criterio implica el nivel de consistencia o estabilidad de los resultados y hallazgos del estudio. En función de este aspecto, la investigación abordó como tema central la degradación fotocatalítica. (Suárez, 2007, p. 650) Por lo tanto, la información recopilada está relacionado con el diseño y descripción del estudio, en la que los resultados obtenidos de diferentes investigaciones son similares en el campo estudiado, además la información que se recolecto se realizó con previo cuidado y coherencia. b) Credibilidad: Implica la valoración de las situaciones en las cuales una investigación pueda ser reconocida como creíble, para ello, es esencial la pesquisa de argumentos fiables que pueden ser demostrados en los resultados del estudio realizado, en concordancia con el proceso seguido en la investigación. En donde la información recolectada es auténtica, ya que describe detalladamente los resultados obtenidos por los investigadores. c) Transferencia: Los resultados de este estudio, no son transferibles ni aplicables a otros contextos y/o ámbitos de acción, criterio del cual se tiene plena razón, en tanto la naturaleza social y compleja del fenómeno estudiado. De todas maneras, podría ser referente para producir transferencias de los instrumentos y fases de la investigación en otra situación y/o contexto, dependerá de la condición o grado de intensidad al acercamiento en cuanto al desarrollado, de quien investiga y desea producir esa transferencia. (Suárez, 2007, p. 648) d) Fundamentación: El estudio contiene un marco teórico sólido, producto de una revisión bibliográfica extensa y enfocada en investigaciones relacionados al tema (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 459). e) Autenticidad: La información obtenida, se expresan tal y como son, ya que permite estudiar los resultados de las experiencias del investigador. Basado en la aproximación de futuros resultados del estudio (Noreña et al., 2012, p. 267). En esta parte el análisis y la interpretación de los datos que obtienen los investigadores puedan continuar y encontrar similitud en sus investigaciones. Por otro lado, el trabajo de investigación es transferible, ya que existen estudios realizados por otros investigadores. Se encontraron información de acuerdo al autor en los temas de fotocatalisis.

### **3.8 Método de análisis de información**

El método de análisis de información consideró el problema general de la investigación, el cual es: ¿En qué medida la degradación fotocatalítica de la anilina influye en el tratamiento de aguas residuales textiles?, a partir del cual evaluar el grado de la degradación de la anilina con la fotocatálisis homogénea y heterogénea con diferentes catalizadores, así obtener agua tratada sin colorantes, de tal manera que pueda ser vertida a la alcantarilla, ríos y otros. Los objetivos específicos planteados en esta investigación fueron divididos en categorías y subcategorías con la finalidad de obtener una información bibliográfica más precisa de criterios similares y realizar el respectivo análisis.

### **3.9 Aspectos éticos**

Para asegurar la calidad ética de la investigación, se tomó en cuenta los siguientes aspectos éticos: a) La información obtenida de diversos autores nacionales e internacionales, se ha citado acorde a las referencias, siguiendo las indicaciones de acuerdo a la norma ISO-690 y 690-2, b) Se cumple con el código de ética de investigación de la Universidad Cesar Vallejo.

El beneficio que se logra mediante la degradación catalítica de la anilina para el tratamiento de las aguas residuales textil, a diferencia del tratamiento biológico convencional, es la conversión de la anilina en agua y dióxido de carbono (conocido como mineralización), que es una característica de los procesos de oxidación avanzada. Por lo tanto, el efluente del tratamiento no impacta negativamente al medio ambiente ni afecta en la salud de las personas. Así la degradación catalítica representa una alternativa para eliminar los daños provocados por las aguas residuales de la industria textil. En ese sentido, mediante la revisión sistemática de información de carácter científico, se pretende dar una alternativa con el fin de impedir los daños provocados por esta actividad económica textiles.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Identificación de los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles**

Son diversos los aspectos o variables que influyen en la degradación fotocatalítica en el tratamiento de aguas residuales con contaminantes recalcitrantes o emergentes, como de la industria textil, con la fotocatálisis

homogénea o heterogénea, entre ellas tenemos: Concentración inicial de la anilina, concentración o dosis del catalizador, concentración inicial o dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , pH, tiempo de tratamiento, presencia y concentración o dosis de aceptores de electrones, radiación solar, fuente de luz UV u otro, tipo de catalizador y temperatura. En este sentido Vásquez et al. (2020, p. 12) indica que la velocidad de la reacción fotocatalítica puede verse influenciada por la temperatura, el pH, la concentración del catalizador, el oxidante, la formación de radicales ( $\text{OH}^*$  y  $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) e incluso los tipos de colorantes a oxidar.

De la revisión realizada se presenta los resultados obtenidos para cada uno de los aspectos o variables detallados.

En los estudios, los investigadores utilizan diferentes concentraciones iniciales de la anilina, y se sabe que influye en su degradación porque las moléculas de anilina solo en contacto efectivo con las especies activas, tenían la posibilidad de ser fotodegradables. (Jin et al., 2020, p. 8). Tang et al. (2010, p. 984) indica que los comportamientos de oxidación fotocatalítica de la anilina dependen en gran medida de su concentración; y Pirsheeb et al. (2017, p. 9) afirman que a medida que aumenta la concentración primaria de anilina, se reduce la cantidad de eliminación.

En la tabla siguiente se presenta los valores de la concentración inicial de la anilina evaluados en los estudios.

Tabla 4

*Concentración inicial de la anilina en la degradación fotocatalítica*

<b>Autor (es)</b>	<b>Niveles de la concentración inicial de la anilina (mg/L)</b>	<b>Concentración inicial de la anilina de mayor degradación (mg/L)</b>
Jin et al., (2020)	10, 15, 20 y 30	10
Pirsheeb et al., (2017)	150, 200 y 250	150
Ahmadi et al., (2017)	40, 80, 120, 160 y 200	80
Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, (2015)	5, 10, 15, 20 y 30	10
Huang et al., (2014)	18.63, 46.57, 93.13 y 186.26 (0.2, 0.5, 1.0 y 2.0 mM)	18.63 (0.2 mM)

Tang et al., (2010)	1.83, 46.57 y 279.39 (0.02, 0.5 y 3 mM)	1.83 (0.02 mM)
---------------------	--	-------------------

Fuente: Elaboración propia.

La concentración o dosis del catalizador tiene una gran influencia en la cinética de fotodegradación de diferentes contaminantes. (Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015, p. 317). En la fotocátalisis homogénea, Yan et al. (2020, p. 12) indica que cantidades excesivas de  $\text{Fe}^{2+}$  son perjudiciales para la degradación de anilina y H. Xie et al. (2021, p. 232) afirma que la [concentración] de  $\bullet\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{Fe (II)}$  aumentaba continuamente a medida que aumentaba la dosis de  $\text{SFe (Fe}^{2+}\text{)}$ , y con ello mejoraría el tratamiento.

En el tratamiento heterogéneo, Jin et al. (2020, p. 9) menciona que el aumento de la cantidad suministrada de fotocatalizador promovió la formación de especies oxidadas ( $\text{h}^+$ ,  $\bullet\text{OH}$ ) que aceleró el proceso de catálisis. Pero a una concentración alta, consumiría grandes cantidades de materias primas y es afectado la propagación de la luz. Shahrezaei et al. (2012, p. 4) sostiene que cuando hay suficiente  $\text{TiO}_2$  en el reactor para adsorber moléculas de anilina, mayores cantidades de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  no tendrían un efecto positivo sobre la eficiencia de degradación de la anilina. Por el contrario, el número de sitios activos en la superficie de la partícula de  $\text{TiO}_2$ , podría ser constante o incluso disminuir ligeramente debido a la disminución de la penetración de la luz y el aumento de la dispersión de la luz UV. Por lo tanto, existe una dosis óptima de  $\text{TiO}_2$  para la eliminación de anilina.

Tabla 5

*Concentración o dosis del catalizador en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Tipo de fotocátalisis</b>	<b>Niveles de la concentración o dosis del catalizador</b>	<b>Concentración o dosis del catalizador de mayor degradación</b>
Xie et al., (2021)	Homogénea	30, 60, 90, 120 y 150 g/L	90 g/L
Yan et al., (2020)		1-6 mM	4 mM
Flores et al., (2015)		0-0.8 g/L	0.1 g/L

Monteagudo et al., (2020)	Heterogénea	75, 125, 250 y 500 mg/L	125
Jin et al., (2020)		0.4, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 g/L	1.2
J. Liu et al., (2020)		0.4, 0.8 1.6 y 2.4 mM	2.4 mM
Antonio Durán et al., (2019)		0, 2.5 y 5 %	2.5%
Gang et al., (2019)		0.1, 0.3, 0.5, 0.8 y 1.5 g/L	0.5 g/L
A. Durán et al., (2018)		0.65, 1.25 y 1.56 mg/cm <sup>2</sup>	1.56 mg/cm <sup>2</sup>
Ahmadi et al., (2017)		0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 g/L	0.4 g/L
Y. Liu et al., (2016)		0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 g/L	0.15 g/L
Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, (2015)		0.05, 0.1, 0.2 y 0.3 g/L	0.1 g/L
Huang et al., (2014)		25, 50 y 100 g/L	100 g/L

Fuente: Elaboración propia.

La concentración inicial o dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es un “oxidante verde” porque en su degradación no genera contaminación y su solubilidad en agua no genera problemas de transferencia de masa (Flores et al., 2015, p. 191). Respecto a este aspecto, A. Durán et al. (2018b, p. 124), Ahmadi et al. (2017, p. 49), Flores et al. (2015, p. 192) y Y. Liu et al. (2016, p. 371) indican que la degradación de la anilina aumenta con el aumento de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; a baja concentración, un número adecuado de radicales hidroxilo (HO•) no se pueden, produce una baja velocidad de oxidación y una reducción en la degradación. Altas concentraciones incrementan la formación de HO•, producen un efecto eliminador, que en lugar de favorecer la degradación del colorante reaccionan improductivamente con otras especies.



Tabla 6

*Concentración inicial o dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Niveles de la concentración inicial o dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>Concentración inicial o dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de mayor degradación (mg/L)</b>
Monteagudo et al., (2020)	20, 40, 50, 250 y 500	40
Gang et al., (2019)	17, 34, 68, 204 y 340 (0.5, 1.0, 2.0, 6.0 y 10.0 mM)	68 (2 mM)
A. Durán et al., (2018)	250, 500, 100 y 1500	500
Ahmadi et al., (2017)	34, 102, 170, 238 y 306 (1.0, 3.0, 5.0, 7.0 y 9.0 mM)	238 (7.0 mM)
Y. Liu et al., (2016)	68, 102, 136 y 170 (2, 3, 4 y 5 mM)	136 (4 mM)
Flores et al., (2015)	0-5610 (0-165 mM)	714 (21 mM)

Fuente: Elaboración propia.

Estudios previos encontraron que el pH inicial de la solución afectó notablemente la eficiencia de remoción de anilina al influir en la adsorción de anilina en la superficie del catalizador, el equilibrio ácido/base en la superficie del catalizador y el proceso de recuperación de hierro (II, III). (Y. Liu et al., 2016, p. 371).

Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh (2015, p. 319) indica que en solución acuosa, a  $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$  (punto de carga cero, pH donde la carga neta total de las partículas es neutra o no está cargada), la superficie del catalizador está cargada negativamente y por tanto se favorece la adsorción de cationes (oxidación de los donantes y aceptores de electrones catiónicos). A  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ , la superficie del catalizador está cargada positivamente y por tanto se propicia la adsorción de aniones. En la fotocatalisis heterogénea, según Vásquez et al. (2020, p. 11) y Monteagudo, Durán, San Martín, et al. (2020, p. 5) indican que el  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  del TiO<sub>2</sub> es 6.5 y 6, respectivamente, e indica que el colorante es un anión y que la eliminación de anilina y sus intermedios de reacción se favoreció a pH 4. Mientras que según Yan et al. (2020, p. 13), en la fotocatalisis homogénea, cuando el valor de  $\text{pH} > 4.0$ , precipitan los iones Fe<sup>2+</sup> y Fe<sup>3+</sup>, por lo tanto menor degradación.

Respecto a la anilina, Monteagudo, Durán, San Martín, et al. (2020, p. 5) destacan que el pKa (magnitud que cuantifica la tendencia de las moléculas a disociarse en solución acuosa) de la anilina es 4.6; a un  $\text{pH} < \text{pKa}$ , la anilina se encuentra en su forma catiónica y  $\text{pH} > \text{pKa}$  predomina en su forma molecular, sin carga.

Tabla 7

*pH inicial en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Tipo de fotocátalisis</b>	<b>Niveles de pH inicial</b>	<b>pH inicial de mayor degradación</b>
Xie et al., (2021)	Homogénea	4, 5, 6, 7 y 8	4
Yan et al., (2020)		2.5, 3, 5, 7, 9 y 11	2.5
Monteagudo et al., (2020)	Heterogénea	4, 7 y 10	4
J. Liu et al., (2020)		3, 5, 7, 9 y 11	5
Jin et al., (2020)		4, 5, 6, 7, 7.6, 9 y 10	6
Gang et al., (2019)		2, 3, 5 y 7	2 y 3
A. Durán et al., (2018)		4 y 6.5	4
Pirsaheb et al., (2017)		5, 7, 9 y 12	9
Y. Liu et al., (2016)		3, 4, 5, 5.4, 6, 7 y 8	5.4
Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejehieh, (2015)		3, 4.5, 5.8, 7 y 10.5	5.8
Huang et al., (2014)		2, 3, 4, 6 y 9	4
Shahrezaei et al., (2012)		2, 4, 6, 8, 10 y 12	12
Anotai et al., (2012)		4, 7 y 10	7

Fuente: Elaboración propia.

A medida que se aumentaba el tiempo de tratamiento, aumentaba la eficiencia de la eliminación de anilina. (Pirsaheb et al., 2017, p. 9). En las investigaciones, el tiempo es variable considerablemente y ello se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 8

*Tiempo de tratamiento en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Tiempo de tratamiento de mayor degradación (minutos)</b>
Monteagudo et al., (2020)	60
Vásquez et al., (2020)	120
A. Durán et al., (2018)	120
Pirsaheb et al., (2017)	360
Ahmadi et al., (2017)	70
Szczepanik & Słomkiewicz, (2016)	300
Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, (2015)	300
Shahrezaei et al., (2012)	120
Anotai et al., (2012)	240

Fuente: Elaboración propia.

El aceptor de electrones ampliamente utilizado es el persulfato ( $S_2O_8^{2-}$ , PS), pero su eficiencia depende del pH debido a la reacción entre los radicales hidroxilo y sulfato. (Antonio Durán et al., 2019, p. 6). Según Monteagudo, Durán, San Martín, et al. (2020, p. 4), solo el PS en presencia de luz solar generó una cantidad insignificante de especies reactivas de oxígeno (no puede activarse eficazmente). Pero en combinación con la luz solar y  $TiO_2$  favoreció la eliminación de anilina y otros compuestos orgánicos intermedios. (Monteagudo, Durán, San Martín, et al., 2020, p. 4). Un valor óptimo del PS inhibió la recombinación del par electrón/hueco, aumentando la disponibilidad de huecos y  $SO_4^{\cdot-}$  y consecuentemente radicales  $HO^{\cdot}$ ,  $H_2O_2$  (también es un aceptor de electrones) también inhibió la recombinación electrón/hueco y generó radicales  $HO^{\cdot}$  aunque un exceso redujo la eficiencia de degradación. (Monteagudo, Durán, San Martín, et al., 2020, p. 1).

En la fotocatalisis homogénea, el  $Fe^{2+}$  cataliza el PS que conduce a una reacción de oxidación del reactivo tipo Fenton, que rápidamente produce  $SO_4^{\cdot-}$  con una fuerte oxidabilidad que descompone las materias orgánicas refractarias. (Yan et al., 2020, p. 12)

Tabla 9

*Concentración inicial o dosis del aceptor de electrones (PS) en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Tipo de fotocátalisis</b>	<b>Niveles de la concentración inicial o dosis de PS (mg/L)</b>	<b>Concentración inicial o dosis de PS de mayor degradación (mg/L)</b>
Yan et al., (2020)	Homogénea	0, 384, 960, 1536 y 1920 (0, 2, 5, 8 y 10 mM)	960 (8 mM)
Monteagudo et al., (2020)	Heterogénea	150, 300 y 450 mg/L	300
Antonio Durán et al., (2019)		0, 300, 500 y 800 mg/L	800 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

Para activar el proceso fotocatalítico, la cantidad de energía debe ser mayor o igual que la brecha de energía de las nanopartículas de óxido de zinc (catalizador), de modo que los electrones de la banda de valencia puedan excitarse y trasladarse hacia la banda de conducción. (Pirsaheb et al., 2017, p. 9). Esta fuente de energía puede ser luz solar o una fuente artificial (UV) y con ello se mejora la eficiencia de la degradación. Según Szczepanik & Słomkiewicz (2016, p. 38) y Tang et al. (2010, p. 978), genera electrones ( $e^-$ ) la iluminación ultravioleta, huecos ( $h^+$ ) y otras especies reactivas en la superficie del  $TiO_2$ , la mayoría de los compuestos orgánicos se puedan oxidar. El efecto es el mismo para la fotocátalisis homogénea.

Tabla 10

*Fuente de energía en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Fuente de energía</b>
Monteagudo et al., (2020)	Luz solar
Vásquez et al., (2020)	Fuente de luz UV
Antonio Durán et al., (2019)	Luz solar y/o Fuente de luz UV En combinación alcanzan una mayor degradación
A. Durán et al., (2018)	Luz solar y/o Fuente de luz UV En combinación alcanzan una mayor degradación
Szczepanik & Słomkiewicz, (2016)	Fuente de luz UV
Flores et al., (2015)	Fuente de luz UV
Shahrezaei et al., (2012)	Fuente de luz UV

Fuente: Elaboración propia.

Hay 3 tipos de catalizador (semiconductor): puro, dopado por elementos y soportado por materiales porosos. La tendencia es mejorar la absorción espectral y eficiencia fotoeléctrica e incrementar el área de superficie específica (actividad fotocatalítica). Los primeros catalizadores son los puros y los últimos son de los dos últimos tipos.

Tabla 11

*Tipos de catalizador (semiconductor) en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Catalizador</b>
Xie et al., (2021)	SFe
Monteagudo et al., (2020)	TiO <sub>2</sub> P25
Vásquez et al., (2020)	Acero inoxidable recubierta con TiO <sub>2</sub> injertado con antocianinas
Yan et al., (2020)	Fe <sup>2+</sup>
Jin et al., (2020)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @SiO <sub>2</sub> @BiO <sub>1.8</sub> ·0.04H <sub>2</sub> O/Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
J. Liu et al., (2020)	MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Antonio Durán et al., (2019)	Compuestos rGO/TiO <sub>2</sub>
Gang et al., (2019)	Hierro de valencia cero (ZVI)
A. Durán et al., (2018)	TiO <sub>2</sub> inmovilizado en cuarzo
Ma et al., (2018)	WO <sub>3</sub>
Pirsaheb et al., (2017)	Cr:ZnO inmovilizadas
Ahmadi et al., (2017)	PAC@Fe <sup>II</sup> -Fe <sup>III</sup> O <sub>4</sub>
Szczepanik & Słomkiewicz, (2016)	Halloysita con TiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> y/o TiO <sub>2</sub> P25
Y. Liu et al., (2016)	Complejo de oxalato de Ni-Fe
Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, (2015)	TiO <sub>2</sub> -clinoptilolita
Flores et al., (2015)	Fe <sup>2+</sup>
Huang et al., (2014)	Óxido de hierro/SiO <sub>2</sub>
Shahrezaei et al., (2012)	TiO <sub>2</sub> P25
Anotai et al., (2012)	TiO <sub>2</sub> P25
Tang et al., (2010)	TiO <sub>2</sub> P25

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura también es importante en este proceso, Shahrezaei et al. (2012, p. 5) indican que la temperatura es un factor importante que afecta la adsorción y fotocatálisis, la velocidad de degradación fotocatalítica aumenta con la temperatura, facilita la producción de electrones (e<sup>-</sup>), huecos (h<sup>+</sup>) y radicales hidroxilo (OH•) que pueden degradar el contaminante orgánico a intermedios, y luego los intermedios

se degradan aún más en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Al respecto, J. Liu et al. (2020, p. 577) señalan que las posibles causas de este fenómeno fueron que la temperatura relativamente alta mejora la colisión efectiva en el proceso de fotodegradación.

Tabla 12

*Temperatura en la degradación fotocatalítica de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Niveles de la temperatura (°C)</b>	<b>Temperatura de mayor degradación (°C)</b>
Jin et al., (2020)	20, 25, 30 y 35	35
J. Liu et al., (2020)	10, 15, 20, 25 y 30	30
Y. Liu et al., (2016)	10, 20 y 30	30
Shahrezaei et al., (2012)	20, 30, 40 y 50	50

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, Vásquez et al. (2020, p. 6) y Pirsaeheb et al. (2017, p. 3) indican que la inyección de oxígeno (aireación) pueden mejorar la creación de un mayor número de radicales libres hidroxilo OH•.

#### **4.2 Análisis de los efectos de la fotocatalisis homogénea y heterogénea de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles**

El efecto de los aspectos o variables de la degradación fotocatalítica homogénea o heterogénea en el tratamiento de aguas residuales textiles se visualiza en los indicadores que miden la eficiencia del tratamiento, estos son: decoloración del agua residual, mineralización de la anilina o eliminación del COT y/o degradación de la anilina. En la Tabla 13, se presenta los mayores valores de estos indicadores.

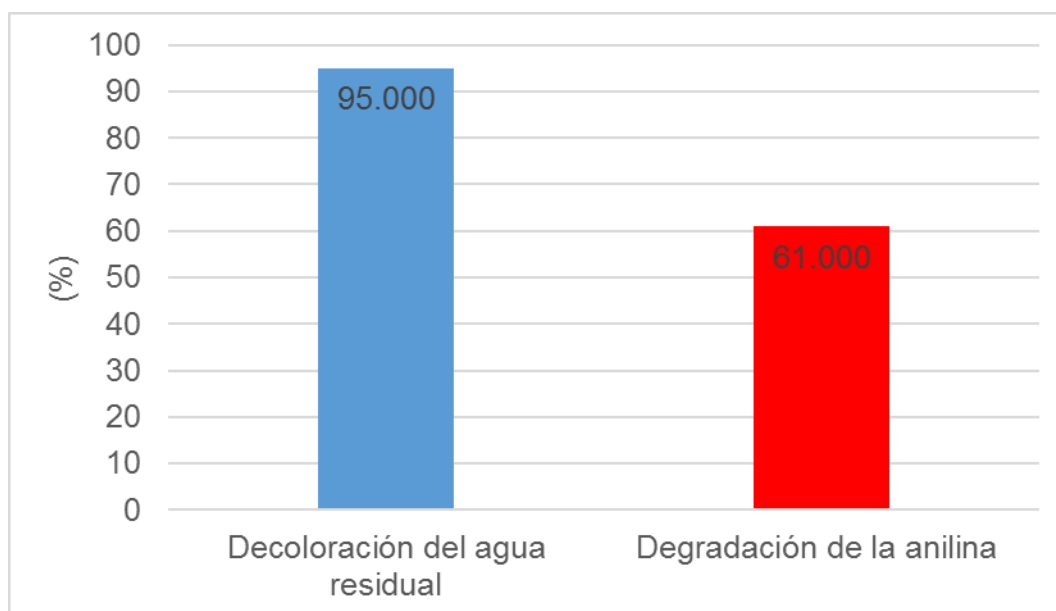
Tabla 13

*Tipos de catalizador (semiconductor) en la degradación fotocatalítica homogénea de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Decoloración del agua residual (%)</b>	<b>Degradación de la anilina (%)</b>
Xie et al., (2021)		33,94
Jin et al., (2020)		88,06
Flores et al., (2015)	95	
Promedio	95±0.000	61.00±27.060

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. *Efectos de la fotocátalisis homogénea de la degradación de la anilina*



Fuente: Elaboración propia.



Tabla 14

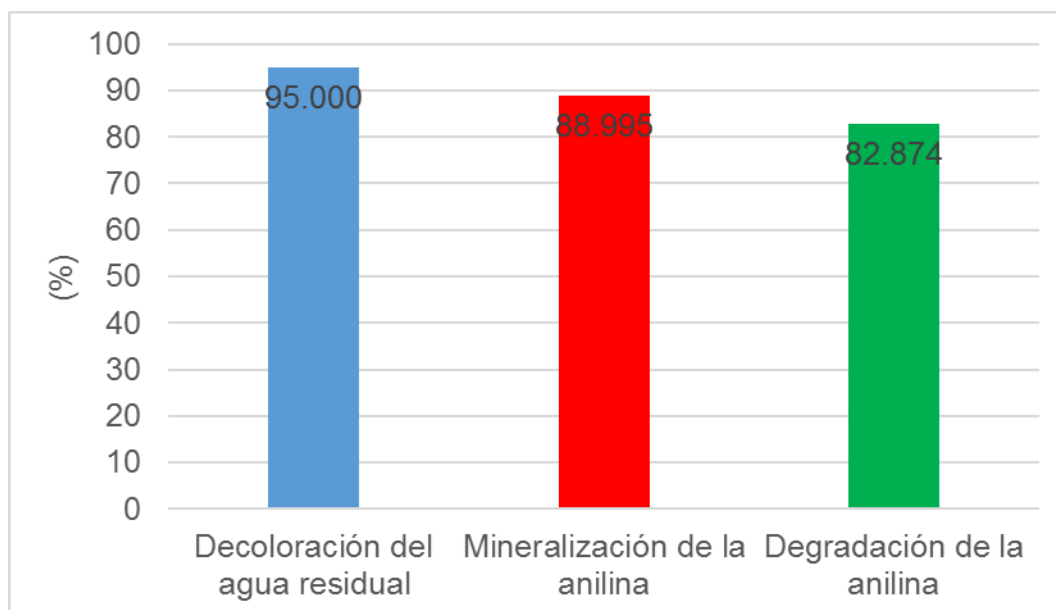
*Tipos de catalizador (semiconductor) en la degradación fotocatalítica heterogénea de la anilina*

<b>Autor (es)</b>	<b>Decoloración del agua residual (%)</b>	<b>Mineralización de la anilina o eliminación del COT (%)</b>	<b>Degradación de la anilina (%)</b>
Jin et al., (2020)			88.06
Flores et al., (2015)	95		
Monteagudo et al., (2020)		91.54	
Vásquez et al., (2020)	95		
Yan et al., (2020)			100
J. Liu et al., (2020)			94
Antonio Durán et al., (2019)		90	
Gang et al., (2019)			100
A. Durán et al., (2018)		89	
Ma et al., (2018)		85.44	
Pirsaheb et al., (2017)			93
Ahmadi et al., (2017)			93.8
Szczepanik & Słomkiewicz, (2016)			70
Y. Liu et al., (2016)			100
Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, (2015)			21.5
Huang et al., (2014)			73

Shahrezaei et al., (2012)			76
Anotai et al., (2012)			72
Tang et al., (2010)			96
Promedio	95.000±0.000	88.995±1.295	82.874±6.002

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Efectos de la fotocátalisis heterogénea de la degradación de la anilina



Fuente: Elaboración propia.

En todos los estudios, el mejor nivel de la concentración inicial es relativamente baja y con ello la degradación es alta, Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh (2015, p. 320) Altas concentraciones de contaminantes indican que una cantidad de luz ultravioleta puede ser absorbida por las moléculas de contaminantes en lugar del catalizador y esto también puede reducir la eficiencia y actividad catalítica. También (Ahmadi et al., 2017, p. 47) indican que concentraciones más altas de contaminantes podrían inhibir la reacción de  $H_2O_2$  en los centros activos redox, y cuando la concentración inicial es baja, la producción de radicales será mayor y conducirá a una mayor eficiencia de eliminación.

La degradación se aumenta con el incremento de la concentración o dosis de catalizador debido a que existen más catalizadores activos disponibles. Pero el mejor nivel, sea fotocátalisis homogénea o heterogénea, se determina en experimentos porque varía principalmente por el tipo de catalizador, concentración

del contaminante y pH, por ello se observa que el mejor nivel de la concentración de catalizador es diferente en los estudios. Monteagudo, Durán, San Martín, et al. (2020, p. 3), H. Xie et al. (2021, p. 232), Yan et al., (2020, p. 12) y Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh (2015, p. 318) indican que a concentraciones mayores a los determinado en sus experimentos, la luz no incide en todas las partículas de catalizador, se produce un efecto inhibitor de la reacción y disminuyeron las eficiencias de degradación y mineralización.

El comportamiento de la concentración inicial o dosis de  $H_2O_2$  es el mismo que del catalizador; Monteagudo, Durán, San Martín, et al. (2020, p. 6) indican que a medida que aumentó la concentración de  $H_2O_2$  se generó mas radicales  $HO^\bullet$  que inhibió la recombinación de pares de electrones y huecos y aumentó la disponibilidad de huecos. Pero a concentraciones mayores (por encima del óptimo) afectaron negativamente la actividad fotocatalítica.

Monteagudo, Durán, San Martín, et al. (2020, p. 5), Gang et al. (2019, p. 843), Anotai et al. (2012, pp. 133–134) y Tang et al. (2010, p. 980) indican el efecto e importancia del pH en la degradación fotocatalítica. En los estudios de fotocatálisis homogénea (Xie et al. (2021) y Yan et al. (2020)), el mejor nivel de pH es igual o menor a 4, porque cuando es mayor precipitan los iones  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ , y la degradación es menor. En la fotocatálisis heterogénea con  $TiO_2$  (Monteagudo et al., (2020); A. Durán et al., (2018) y Anotai et al., (2012)), el mejor nivel de pH es menor a 6.5 ó 7, porque a estás condiciones el catalizador está cargado positivamente y atrae al colorante que es un anión. En algunos estudios los valores son diferentes debido a que es otro catalizador (Cr:ZnO inmovilizadas de Pirsahab et al., (2017)) o tipo de catalizador, significa que recibieron un tratamiento para mejorar sus propiedades catalíticas y su punto de carga cero es diferente al del  $TiO_2$  (6.5). Asi tambien hay otros catalizadores que cuyo pH son similares a los del  $TiO_2$ , como:  $Fe_3O_4@SiO_2@BiO_{1.8} \cdot 0.04H_2O/Ag_3PO_4$  (Jin et al., 2020),  $MnFe_2O_4$  ( J. Liu et al., 2020) y hierro de valencia cero (ZVI) (Gang et al., 2019).

El tiempo de tratamiento es variable según los niveles de las variables de la degradación fotocatalítica, el que más influye es la concentración inicial de la anilina, a mayor concentración el tiempo se incrementa. En los antecedentes se encuentra valores entre 60 (Monteagudo et al., 2020) y 300 minutos (Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh, 2015).

En las investigaciones de Yan et al., (2020), Monteagudo et al., (2020) y Antonio Durán et al., (2019) evaluaron diferentes niveles de la concentración inicial o dosis de PS, el comportamiento es similar a la concentración del catalizador y concentración inicial de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , quiere decir que tiene que ser determinado experimentalmente, la escasez y exceso es negativo para el tratamiento.

Para activar el proceso fotocatalítico, la cantidad de energía debe ser igual o mayor que la brecha de energía del catalizador (Pirsaheb et al., 2017, p. 9), quiere decir que es necesario una fuente de energía, específicamente luz ultravioleta (UV) con una longitud de onda menor a 290 nm, por esa razón Vásquez et al. (2020), Antonio Durán et al. (2019), A. Durán et al. (2018), Szczepanik & Słomkiewicz (2016), Flores et al., (2015), Shahrezaei et al., (2012) y otros utilizaron fuentes de luz UV artificial, pero involucra un gasto. Por ello, otros investigadores como Monteagudo et al. (2020), Antonio Durán et al., (2019), A. Durán et al., (2018) y otros utilizaron luz solar, porque el espectro solar contiene luz UV con longitudes de onda entre 100 y 400 nm, el problema son los días nublados donde el suministro de energía es insuficiente. Como lo indicó A. Durán et al. (2018b, p. 122) la eficiencia aumenta hasta un 2,67% cuando se usa luz ultravioleta artificial, quiere decir que no es significativa, por lo que Pirsaheb et al. (2017, p. 12) indican que en comparación con las lámparas UV, el uso de luz solar y luz visible a gran escala es más económico y tiene menos problemas estratégicos. A. Durán et al. (2018b, p. 122) se sugiere durante los días nublados se sugiere utilizar lámparas durante los días nublados para mejorar velocidad de degradación de la anilina.

La tendencia en las investigaciones respecto al tipo de catalizador con la finalidad de mejorar la degradación catalítica de contaminantes, es utilizar semiconductores dopado por elementos o soportado por materiales porosos. En los antecedentes se observa diversos catalizadores diferentes al  $\text{TiO}_2$  o  $\text{Fe}^{2+}$ . Ejemplo de ello el catalizador rGO de Antonio Durán et al. (2019), AHal y ComHal de Szczepanik & Słomkiewicz (2016),  $\text{TiO}_2$ -NCP de Zabihi-Mobarakeh & Nezamzadeh-Ejhieh (2015), antocianinas con  $\text{TiO}_2$  de Vásquez et al. (2020),  $\text{WO}_3/\text{Cu}$  (II) de Ma et al. (2018) y  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{BiO}_{1.8}\cdot 0.04\text{H}_2\text{O}/\text{Ag}_3\text{PO}_4$  de Jin et al. (2020).

En la evaluación de los niveles de la temperatura en la degradación fotocatalítica de la anilina, el nivel alto es la mejor condición porque básicamente aumenta la velocidad de reacción de la degradación, la limitante es que cuando se desea implementar este tratamiento a escala real la energía que se necesitaría sería considerable para calentar el agua residual.

La decoloración del agua residual solo mide la pérdida de color del agua residual, la degradación de la anilina mide la transformación de la anilina a otros compuestos intermedios como el ácido oxálico y ácido oleico (Pirsaheb et al., 2017, p. 10), *cis*- y *trans*-azobenceno, nitrosobenceno, azobenceno y otros. Mientras que la mineralización de la anilina o eliminación del COT mide la conversión de la anilina en agua y dióxido de carbono, siendo este último el objetivo mayor de la degradación fotocatalítica.

En la fotocatálisis homogénea, Jin et al., (2020) logró una mayor degradación de la anilina que Xie et al., (2021) debido a que utilizó como catalizador nanomateriales magnéticos  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{BiO}_{1.8}\cdot 0.04\text{H}_2\text{O}/\text{Ag}_3\text{PO}_4$  y la solución a tratamiento solo contenía anilina con una concentración de 10 mg/L. Xie et al., (2021) investigó un novedoso sistema de hierro esponja biológico y utilizó agua residual de anilina simulada que se compuso de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (160 mg/L),  $\text{NaHCO}_3$  (80 mg/L),  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (24 mg/L),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (9.6 mg/L) y AN (140 mg/L).

En la fotocatálisis heterogénea, Flores et al., (2015) y Vásquez et al., (2020) alcanzan una decoloración del 95%, son procesos catalíticos diferentes que no tienen coincidencia para efectos de análisis y comparación. Yan et al., (2020), Gang et al., (2019) y Y. Liu et al., (2016) alcanzaron una degradación de la anilina del 100% fundamentalmente por la baja concentración inicial de la anilina (0.1, 0.012 y 2 mM, respectivamente); además determinaron experimentalmente las mejores condiciones de la concentración de catalizador, concentración inicial de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , pH y en el último estudio la temperatura. Monteagudo et al., (2020) logró la mayor mineralización de la anilina o eliminación del COT porque además de realizar los mismo que los tres investigadores anteriores y agregó e investigó el efecto del  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ .

## V. CONCLUSIONES

Los principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina que influyen en el tratamiento de aguas residuales textiles son la concentración inicial de la anilina (1.83 a 150 mg/L), concentración o dosis del catalizador (0.1 a 90 g/L), concentración inicial de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (40 a 714 mg/L), pH (2 a 12), tiempo de tratamiento (60 a 360 minutos) y tipo de catalizador (puro, dopado por elementos y soportado por materiales porosos). Entre los aspectos con una ligera menor influencia tenemos a los aceptores de electrones (concentración del persulfato, 300 a 960 mg/L), fuente de energía (luz solar y fuente de UV) y temperatura (30 a 50 °C).

En la degradación fotocatalítica homogénea, se logra una decoloración y degradación de la anilina de  $95.00 \pm 0.00\%$  y  $61.00 \pm 27.06\%$ , respectivamente. Mientras que en la fotocatálisis heterogénea la decoloración, mineralización y degradación de la anilina es  $95.00 \pm 0.00\%$ ,  $88.99 \pm 1.29\%$  y  $82.87 \pm 6.00\%$ , respectivamente. Dependiendo de los niveles de los aspectos de la degradación fotocatalítica, puede lograrse diferentes resultados.

La degradación fotocatalítica de la anilina mejora significativamente el tratamiento de aguas residuales textiles aproximadamente en un 85%, debido a que los métodos convencionales no degradan este contaminante por ser recalcitrante. Son los radicales hidroxilo generados en la fotocatálisis homogénea y heterogénea quienes degradan la anilina.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Investigar la degradación de la anilina con otros procesos de oxidación avanzada como ozonización, ultrasonido y oxidación electroquímica.

Estudiar la degradación fotocatalítica de la anilina en combinación con otros procesos de oxidación avanzada como ozonización y oxidación electroquímica.

Realizar la misma investigación para otros colorantes que se utilizan frecuentemente en la industria textil y de otras áreas.

Investigar la degradación de contaminantes persistentes como pesticidas, herbicidas, antibióticos, analgésicos y otros. Porque su presencia en el ambiente impacta negativamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABROSHAN, E., FARHADI, S. y ZABARDASTI, A., 2018. Novel magnetically separable Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite and its high photocatalytic degradation performance for organic dyes under solar-light irradiation. *Solar Energy Materials and Solar Cells* [en línea], vol. 178, no. January, pp. 154-163. ISSN 09270248. DOI 10.1016/j.solmat.2018.01.026. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.01.026>.
2. AHMADI, M., KAKAVANDI, B., JORFI, S. y AZIZI, M., 2017. Oxidative degradation of aniline and benzotriazole over PAC@FeIIFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: A recyclable catalyst in a heterogeneous photo-Fenton-like system. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 336, pp. 42-53. ISSN 10106030. DOI 10.1016/j.jphotochem.2016.12.014.
3. ANOTAI, J., AMOMRAT, J., YU-MING, L. y MING-CHUN, L., 2012. Oxidation of aniline by titanium dioxide activated with visible light. *Separation and Purification Technology* [en línea], vol. 84, pp. 132-137. ISSN 13835866. DOI 10.1016/j.seppur.2011.09.035. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.035>.
4. ATALAY, S. y ERSÖZ, G., 2021. Hybrid application of advanced oxidation processes to dyes' removal. *Green Chemistry and Water Remediation: Research and Applications*. S.l.: s.n., pp. 209-238. ISBN 9780128177426.
5. BEKKOUCHE, S., MEROUANI, S., HAMDAOUI, O. y BOUHELASSA, M., 2017. Efficient photocatalytic degradation of Safranin O by integrating solar-UV/TiO<sub>2</sub>/persulfate treatment: Implication of sulfate radical in the oxidation process and effect of various water matrix components. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* [en línea], vol. 345, pp. 1-46. ISSN 10106030. DOI 10.1016/j.jphotochem.2017.05.028. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.05.028>.
6. BENITO, A., PENADÉS, A., LLIBERIA, J.L. y GONZALEZ-OLMOS, R., 2017. Degradation pathways of aniline in aqueous solutions during electro-oxidation with BDD electrodes and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment. *Chemosphere*, vol. 166, pp. 230-237. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.09.105.
7. BHATTACHARYYA, A., KAWI, S. y RAY, M.B., 2004. Photocatalytic



- degradation of orange II by TiO<sub>2</sub> catalysts supported on adsorbents. *Catalysis Today*, vol. 98, no. 3 SPEC. ISS., pp. 431-439. ISSN 09205861. DOI 10.1016/j.cattod.2004.08.010.
8. BRAÑEZ SÁNCHEZ, M., GUTIERREZ, R., PEREZ, R., URIBE, C. y VALLE, P., 2018. Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Revista de la Escuela Universitaria de Posgrado UNFV*, vol. 23, pp. 129-143. DOI <http://doi.org/10.24265/cmpus.2018.v23n26.03>.
  9. BRILLAS, E., SIRÉS, I. y OTURAN, M.A., 2009. Electro-fenton process and related electrochemical technologies based on fenton's reaction chemistry. *Chemical Reviews*, vol. 109, no. 12, pp. 6570-6631. ISSN 00092665. DOI 10.1021/cr900136g.
  10. CHEN, W.-S. y HUANG, C.-P., 2015. Mineralization of aniline in aqueous solution by electrochemical activation of persulfate. *Chemosphere* [en línea], vol. 125, pp. 175-181. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2014.12.053. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.053>.
  11. COLLIVIGNARELLI, M.C., ABBÀ, A., CARNEVALE MIINO, M. y DAMIANI, S., 2019. Treatments for color removal from wastewater: State of the art. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 236, no. September 2018, pp. 727-745. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.11.094. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.094>.
  12. CUI, D., SHEN, D., WU, C., LI, C., LENG, D. y ZHAO, M., 2017. Biodegradation of aniline by a novel bacterial mixed culture AC. *International Biodeterioration and Biodegradation* [en línea], vol. 125, pp. 86-96. ISSN 09648305. DOI 10.1016/j.ibiod.2017.08.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.08.010>.
  13. DEZA MARTÍ, E., 2017. *Estudio de catalizadores basados en nanopartículas de TiO<sub>2</sub> para la degradación fotocatalítica del colorante cibacrón navy H-2G presente en efluentes textiles* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6801>.
  14. DURÁN, A., MONTEAGUDO, J.M., MARTÍN, I.S., MERINO, S., CHEN, X. y

- SHI, X., 2019. Solar photo-degradation of aniline with rGO/TiO<sub>2</sub> composites and persulfate. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 697, pp. 134086. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.134086. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134086>.
15. DURÁN, A., MONTEAGUDO, J.M., SAN MARTÍN, I. y MERINO, S., 2018a. Photocatalytic degradation of aniline using an autonomous rotating drum reactor with both solar and UV-C artificial radiation. *Journal of Environmental Management*, vol. 210, pp. 122-130. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.01.012.
  16. DURÁN, A., MONTEAGUDO, J.M., SAN MARTÍN, I. y MERINO, S., 2018b. Photocatalytic degradation of aniline using an autonomous rotating drum reactor with both solar and UV-C artificial radiation. *Journal of Environmental Management*, vol. 210, pp. 122-130. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.01.012.
  17. ESPLUGAS, S., GIMÉNEZ, J., CONTRERAS, S., PASCUAL, E. y RODRÍGUEZ, M., 2002. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Research*, vol. 36, no. 4, pp. 1034-1042. ISSN 00431354. DOI 10.1016/S0043-1354(01)00301-3.
  18. FERREIRO, C., VILLOTA, N., LOMBRAÑA, J.I. y RIVERO, M.J., 2019. An efficient catalytic process for the treatment of genotoxic aniline wastewater using a new granular activated carbon-supported titanium dioxide composite. *Journal of Cleaner Production*, vol. 228, pp. 1282-1295. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.04.198.
  19. FLORES, A., VITALE, P., EYLER, G.N. y CAÑIZO, A.I., 2015. Remoción de colorantes textiles aplicando procesos fotoquímicos oxidativos (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/lana de acero comercial). *Afinidad LXXI*, pp. 188-195. ISSN 00019704.
  20. FU, J., YU, J., JIANG, C. y CHENG, B., 2018. g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Based heterostructured photocatalysts. *Advanced Energy Materials*, vol. 8, no. 3, pp. 1-31. ISSN 16146840. DOI 10.1002/aenm.201701503.
  21. FUJISHIMA, A., ZHANG, X. y TRYK, D.A., 2007. Heterogeneous photocatalysis: From water photolysis to applications in environmental

- cleanup. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2664-2672. ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2006.09.009.
22. GAD, S.C., 2014. Aniline. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, vol. 1, pp. 240-242. DOI 10.1016/B978-0-12-386454-3.00813-7.
23. GANG, X., WANG, Q., QIAN, Y., GAO, P., SU, Y., LIU, Z., CHEN, H., LI, X. y CHEN, J., 2019. Simultaneous removal of aniline, antimony and chromium by ZVI coupled with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Implication for textile wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 368, pp. 840-848. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2019.02.009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.009>.
24. GARCÉS GIRALDO, L.F., MEJÍA FRANCO, E.A. y SANTAMARÍA ARANGO, J.J., 2004. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 1, no. 1, pp. 83-92. ISSN 1794-4449.
25. GARCÍA-LÓPEZ, E.I., MARCÌ, G. y PALMISANO, L., 2019. Photocatalytic and catalytic reactions in gas–solid and in liquid–solid systems. *Heterogeneous Photocatalysis*. S.l.: s.n., pp. 153-176. ISBN 9780444640154.
26. GHALEBIZADE, M. y AYATI, B., 2016. Solar photoelectrocatalytic degradation of Acid Orange 7 with ZnO/TiO<sub>2</sub> nanocomposite coated on stainless steel electrode. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], vol. 103, pp. 192-202. ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2016.07.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.07.009>.
27. GÜRSES, A., GÜNEŞ, K. y ŞAHİN, E., 2021. Removal of dyes and pigments from industrial effluents. *Green Chemistry and Water Remediation: Research and Applications*. S.l.: s.n., pp. 135-187. ISBN 9780128177426.
28. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, M. del P., 2014. *Metodología de la investigación*. Sexta ed. México: Mc Graw Hill. ISBN 978-1-4562-2396-0.
29. HERRMANN, J.M., 1999. Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis*

- Today*, vol. 53, pp. 115-129. DOI 10.1115/IMECE200743738.
30. HUANG, Y.H., SU, C.C., YANG, Y.P. y LU, M.C., 2014. Degradation of aniline catalyzed by heterogeneous Fenton-like reaction using iron oxide/SiO<sub>2</sub>. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, pp. 1-6. ISSN 19447450. DOI 10.1002/ep.
  31. HUSSAIN, I., ZHANG, Y., LI, M., HUANG, S., HAYAT, W., HE, L., DU, X., LIU, G. y DU, M., 2018. Heterogeneously degradation of aniline in aqueous solution using persulfate catalyzed by magnetic BiFeO<sub>3</sub> nanoparticles. *Catalysis Today* [en línea], vol. 310, no. February, pp. 130-140. ISSN 09205861. DOI 10.1016/j.cattod.2018.02.017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2018.02.017>.
  32. IBHADON, A.O. y FITZPATRICK, P., 2013. Heterogeneous photocatalysis: Recent advances and applications. *Catalysts*, vol. 3, no. 1, pp. 189-218. ISSN 20734344. DOI 10.3390/catal3010189.
  33. JIANG, L., LIU, L., XIAO, S. y CHEN, J., 2016. Preparation of a novel manganese oxide-modified diatomite and its aniline removal mechanism from solution. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 284, pp. 609-619. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2015.08.140. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.140>.
  34. JIN, R., QIU, Z., CHENG, W. y JIN, X., 2020. Photocatalytic degradation of aniline by magnetic nanomaterials Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>@BiO<sub>1.8</sub>-0.04H<sub>2</sub>O/Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Chemical Physics Letters*, vol. 755, pp. 0-21. ISSN 00092614. DOI 10.1016/j.cplett.2020.137747.
  35. KATAL, R., ESHKALAK, S.K., MASUDY-PANAH, S., KOSARI, M., SAEEDIKHANI, M., ZARINEJAD, M. y RAMAKRISHNA, S., 2019. Evaluation of solar-driven photocatalytic activity of thermal treated TiO<sub>2</sub> under various atmospheres. *Nanomaterials*, vol. 9, no. 2. ISSN 20794991. DOI 10.3390/nano9020163.
  36. KATAL, R., MASUDY-PANAH, S., TANHAEI, M., FARAHANI, M.H.D.A. y JIANGYONG, H., 2020. A review on the synthesis of the various types of anatase TiO<sub>2</sub> facets and their applications for photocatalysis. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 384, pp. 123384. ISSN 13858947. DOI

- 10.1016/j.cej.2019.123384. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123384>.
37. KHAN, S., SAYED, M., SOHAIL, M., SHAH, L.A. y RAJA, M.A., 2019. Advanced oxidation and reduction processes. *Advances in Water Purification Techniques* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc., pp. 135-164. ISBN 9780128147900. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00006-5>.
38. KHAN, S.H. y PATHAK, B., 2020. ZnO based photocatalytic degradation of persistent pesticides: A comprehensive review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea], pp. 46. ISSN 2215-1532. DOI 10.1016/j.enmm.2020.100290. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100290>.
39. KIM, K.H. y IHM, S.K., 2011. Heterogeneous catalytic wet air oxidation of refractory organic pollutants in industrial wastewaters: A review. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 186, no. 1, pp. 16-34. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2010.11.011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.011>.
40. KIM, S., PARK, H. y CHOI, W., 2004. Comparative study of homogeneous and heterogeneous photocatalytic redox reactions: PW12O40<sup>3-</sup> vs TiO<sub>2</sub>. *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 108, no. 20, pp. 6402-6411. ISSN 15206106. DOI 10.1021/jp049789g.
41. KOMTCHOU, S., DIRANY, A., DROGUI, P., ROBERT, D. y LAFRANCE, P., 2017. Removal of atrazine and its by-products from water using electrochemical advanced oxidation processes. *Water Research* [en línea], vol. 125, pp. 91-103. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2017.08.036. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.036>.
42. LI PUMA, G., BONO, A., KRISHNAIAH, D. y COLLIN, J.G., 2008. Preparation of titanium dioxide photocatalyst loaded onto activated carbon support using chemical vapor deposition: A review paper. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 157, no. 2-3, pp. 209-219. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2008.01.040.
43. LI, X., XU, H., YAN, W. y SHAO, D., 2016. Electrocatalytic degradation of aniline by Ti/Sb-SnO<sub>2</sub>, Ti/Sb-SnO<sub>2</sub>/Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Ti/Sb-SnO<sub>2</sub>/PbO<sub>2</sub> anodes in

- different electrolytes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 775, pp. 43-51. ISSN 15726657. DOI 10.1016/j.jelechem.2016.05.033.
44. LI, Y., CHEN, F., HE, R., WANG, Y. y TANG, N., 2019. Semiconductor photocatalysis for water purification. *Nanoscale Materials in Water Purification* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc., pp. 689-705. ISBN 9780128139264. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-813926-4.00030-6>.
  45. LIU, J., QIAO, L., WANG, Y., LI, G. y LIU, B., 2020. Aniline degradation by peroxydisulfate activated with magnetic Fe–Mn oxides composite: Efficiency, stability, and mechanism. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis* [en línea], vol. 131, no. 2, pp. 567-582. ISSN 18785204. DOI 10.1007/s11144-020-01861-1. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01861-1>.
  46. LIU, Y., ZHANG, G., FANG, S., CHONG, S. y ZHU, J., 2016. Degradation of aniline by heterogeneous Fenton's reaction using a Ni-Fe oxalate complex catalyst. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 182, pp. 367-373. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.07.084. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.084>.
  47. LODDO, V., BELLARDITA, M., CAMERA-RODA, G., PARRINO, F. y PALMISANO, L., 2018. Heterogeneous photocatalysis: A promising advanced oxidation process. *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes: Photocatalytic Membranes and Photocatalytic Membrane Reactors* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc., pp. 1-43. ISBN 9780128135495. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-813549-5.00001-3>.
  48. LÓPEZ-MUÑOZ, M.J., GRIEKEN, R. Van, AGUADO, J. y MARUGÁN, J., 2005. Role of the support on the activity of silica-supported TiO<sub>2</sub> photocatalysts: Structure of the TiO<sub>2</sub>/SBA-15 photocatalysts. *Catalysis Today*, vol. 101, no. 3-4 SPEC. ISS., pp. 307-314. ISSN 09205861. DOI 10.1016/j.cattod.2005.03.017.
  49. MA, G., LU, J., MENG, Q., LV, H., SHUI, L., ZHANG, Y., JIN, M., CHEN, Z., YUAN, M., NÖTZEL, R., WANG, X., WANG, C., LIU, J.M. y ZHOU, G., 2018. Synergistic effect of Cu-ion and WO<sub>3</sub> nanofibers on the enhanced photocatalytic degradation of Rhodamine B and aniline solution. *Applied Surface Science*, vol. 451, pp. 306-314. ISSN 01694332. DOI

- 10.1016/j.apsusc.2018.04.236.
50. MALDONADO RUBIO, M.I., SUÁREZ GIL, S. y GARCÍA MIRANDA, N., 2015. *Degradación de contaminantes emergentes mediante TiO<sub>2</sub> inmovilizado e irradiación solar* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-84-7834-735-3. Disponible en: [https://www.psa.es/es/areas/tsa/docs/Tesis\\_Noelia\\_Miranda.pdf](https://www.psa.es/es/areas/tsa/docs/Tesis_Noelia_Miranda.pdf).
51. MENG, S., NING, X., CHANG, S., FU, X., YE, X. y CHEN, S., 2018. Simultaneous dehydrogenation and hydrogenolysis of aromatic alcohols in one reaction system via visible-light-driven heterogeneous photocatalysis. *Journal of Catalysis* [en línea], vol. 357, pp. 247-256. ISSN 10902694. DOI 10.1016/j.jcat.2017.11.015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2017.11.015>.
52. MILLS, A. y VALENZUELA, M.A., 2004. The photo-oxidation of water by sodium persulfate, and other electron acceptors, sensitised by TiO<sub>2</sub>. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 165, no. 1-3, pp. 25-34. ISSN 10106030. DOI 10.1016/j.jphotochem.2004.02.017.
53. MONTEAGUDO, J.M., DURÁN, A., MARTÍN, I.S. y VELLÓN, B., 2020. Photocatalytic degradation of aniline by solar/TiO<sub>2</sub> system in the presence of the electron acceptors Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Separation and Purification Technology* [en línea], vol. 238, no. December 2019, pp. 116456. ISSN 18733794. DOI 10.1016/j.seppur.2019.116456. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116456>.
54. MONTEAGUDO, J.M., DURÁN, A., SAN MARTÍN, I. y VELLÓN, B., 2020. Photocatalytic degradation of aniline by solar/TiO<sub>2</sub> system in the presence of the electron acceptors Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Separation and Purification Technology* [en línea], vol. 238, no. December 2019, pp. 1-8. ISSN 18733794. DOI 10.1016/j.seppur.2019.116456. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116456>.
55. NIDHEESH, P. V., ZHOU, M. y OTURAN, M.A., 2018. An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemosphere* [en línea], vol. 197, pp. 210-227. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.12.195. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.195>.

56. NOREÑA, A.L., ALCARAZ-MORENO, N., ROJAS, J.G. y REBOLLEDO-MALPICA, D., 2012. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichán* [en línea], vol. 12, no. 3, pp. 263-274. ISSN 16575997. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/aqui/v12n3/v12n3a06.pdf>.
57. NTULI, F., IKHU-OMOREGBE, D., KUIPA, P.K. y MUZENDA, E., 2009. Characterization of effluent from textile wet finishing operations. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, vol. 2178, no. 1, pp. 1-6. ISSN 2078-0958.
58. OSEDA, D., CHENET, M., HURTADO, D. Y OTROS (2015). *Metodología de la Investigación Científica*. (5ª ed.). Huancayo-Perú: Soluciones Gráficas SAC.
59. OHTANI, B., 2011. *Photocatalysis by inorganic solid materials: Revisiting its definition, concepts, and experimental procedures* [en línea]. 1. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780123859044. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385904-4.00001-9>.
60. ORTIZ, I., RIVERO, M.J. y MARGALLO, M., 2019. Advanced oxidative and catalytic processes. *Sustainable Water and Wastewater Processing* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc., pp. 161-201. ISBN 9780128161708. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816170-8.00006-5>.
61. PATHANIA, D., THAKUR, M. y SHARMA, A., 2020. Photocatalytical degradation of pesticides. *Nano-Materials as Photocatalysts for Degradation of Environmental Pollutants*. S.I.: Elsevier Inc., pp. 153-172. ISBN 9780128185988.
62. PERA-TITUS, M., GARCÍA-MOLINA, V., BAÑOS, M.A., GIMÉNEZ, J. y ESPLUGAS, S., 2004. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: A general review. *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 47, no. 4, pp. 219-256. ISSN 09263373. DOI 10.1016/j.apcatb.2003.09.010.
63. PIRSAHEB, M., SHAHMORADI, B., BEIKMOHAMMADI, M., AZIZI, E., HOSSINI, H. y MD ASHRAF, G., 2017. Photocatalytic degradation of Aniline from aqueous solutions under sunlight illumination using immobilized Cr:ZnO



- nanoparticles. *Scientific Reports* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 1-12. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-017-01461-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01461-5>.
64. RAJ, A.T., RAMANUJAN, K., THANGAVEL, S., GOPALAKRISHAN, S., RAGHAVAN, N. y VENUGOPAL, G., 2015. Facile synthesis of vanadium-pentoxide nanoparticles and study on their electrochemical, photocatalytic properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 15, no. 5, pp. 3802-3808. ISSN 15334899. DOI 10.1166/jnn.2015.9543.
  65. RANI, N., SANGWAN, P., JOSHI, M., SAGAR, A. y BALA, K., 2019. Microbes: A key player in industrial wastewater treatment. *Microbial Wastewater Treatment* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc., pp. 83-102. ISBN 9780128168097. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816809-7.00005-1>.
  66. RAPPOPORT, Z., 2007. The chemistry of anilines. *The Chemistry of Functional Groups*. S.I.: John Wiley & Sons, Inc., pp. 1163. ISBN 9781626239777.
  67. ROBINSON, T., MCMULLAN, G., MARCHANT, R. y NIGAM, P., 2001. Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, vol. 77, pp. 247-255. ISSN 09574352. DOI 10.1504/IJEP.2004.004190.
  68. ROY, M. y SAHA, R., 2021. Dyes and their removal technologies from wastewater: A critical review. *Intelligent Environmental Data Monitoring for Pollution Management* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc., pp. 127-160. ISBN 9780128196717. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819671-7.00006-3>.
  69. RUEDA-MARQUEZ, J.J., LEVCHUK, I., FERNÁNDEZ IBAÑEZ, P. y SILLANPÄÄ, M., 2020. A critical review on application of photocatalysis for toxicity reduction of real wastewaters. *Journal of Cleaner Production*, vol. 258. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.120694.
  70. SAJAN, C.P., WAGEH, S., AL-GHAMDI, A.A., YU, J. y CAO, S., 2016. TiO<sub>2</sub> nanosheets with exposed {001} facets for photocatalytic applications. *Nano Research*, vol. 9, no. 1, pp. 3-27. ISSN 19980000. DOI 10.1007/s12274-015-

0919-3.

71. SAKTHIVEL, T., HUANG, X., WU, Y. y RTIMI, S., 2020. Recent progress in black phosphorus nanostructures as environmental photocatalysts. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 379, no. July 2019, pp. 1-13. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2019.122297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122297>.
72. SENTHIL KUMAR, P. y GRACE PAVITHRA, K., 2019. Water and textiles. *Water in Textiles and Fashion* [en línea]. S.l.: Elsevier Ltd., pp. 21-40. ISBN 9780081026335. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102633-5.00002-6>.
73. SHAHREZAEI, F., MANSOURI, Y., ZINATIZADEH, A.A.L. y AKHBARI, A., 2012. Photocatalytic degradation of aniline using TiO<sub>2</sub> nanoparticles in a vertical circulating photocatalytic reactor. *International Journal of Photoenergy*, vol. 2012, pp. 1-9. ISSN 1110662X. DOI 10.1155/2012/430638.
74. SU, C.X.H., LOW, L.W., TENG, T.T. y WONG, Y.S., 2016. Combination and hybridisation of treatments in dye wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 4, no. 3, pp. 3618-3631. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2016.07.026. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2016.07.026>.
75. SUÁREZ, M., 2007. El Carácter científico de la investigación. *El Saber Pedagógico de los Profesores de la Universidad de los Andes Táchira y sus Implicaciones en la Enseñanza* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 645-654. ISBN 9788469076279. Disponible en: <https://tdx.cat/bitstream/handle/10803/8922/10CapituloXElcaracterCientifico delainvestigaciontfc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
76. SZCZEPANIK, B. y SŁOMKIEWICZ, P., 2016. Photodegradation of aniline in water in the presence of chemically activated halloysite. *Applied Clay Science*, vol. 124-125, pp. 31-38. ISSN 01691317. DOI 10.1016/j.clay.2016.01.045.
77. TANG, H., LI, J., BIE, Y., ZHU, L. y ZOU, J., 2010. Photochemical removal of aniline in aqueous solutions: Switching from photocatalytic degradation to photo-enhanced polymerization recovery. *Journal of Hazardous Materials*,

- vol. 175, no. 1-3, pp. 977-984. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2009.10.106.
78. TURCHI, C.S. y OLLIS, D.F., 1990. Photocatalytic degradation of organic water contaminants: Mechanisms involving hydroxyl radical attack. *Journal of Catalysis*, vol. 122, no. 1, pp. 178-192. ISSN 10902694. DOI 10.1016/0021-9517(90)90269-P.
  79. VÁSQUEZ, D., PALOMINOS, F. y MARTÍNEZ, S., 2020. Visible-light photocatalytic degradation of aniline blue by stainless-steel foam coated with TiO<sub>2</sub> grafted with anthocyanins from a Maqui-Blackberry System. *Catalysts*, pp. 1-16.
  80. VIZCAÍNO MENDOZA, L. y FUENTES MOLINA, N., 2016. Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 19, no. 1, pp. 189-198. ISSN 01234226. DOI 10.31910/rudca.v19.n1.2016.225.
  81. WU, W., JIANG, C. y ROY, V.A.L., 2015. Recent progress in magnetic iron oxide-semiconductor composite nanomaterials as promising photocatalysts. *Nanoscale*, vol. 7, no. 1, pp. 38-58. ISSN 20403372. DOI 10.1039/c4nr04244a.
  82. XIE, H., LI, Jie, WANG, Y., ZHAO, W., ZHANG, L. y LI, Jing, 2021. Influencing factors for the Fenton-like of biological sponge iron system and its degradation mechanism of aniline. *Process Biochemistry* [en línea], vol. 101, pp. 230-236. ISSN 13595113. DOI 10.1016/j.procbio.2020.11.012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.11.012>.
  83. XIE, X., ZHANG, Y., HUANG, W. y HUANG, S., 2012. Degradation kinetics and mechanism of aniline by heat-assisted persulfate oxidation. *Journal of Environmental Sciences* [en línea], vol. 24, no. 5, pp. 821-826. ISSN 10010742. DOI 10.1016/S1001-0742(11)60844-9. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60844-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60844-9).
  84. XUE, G., ZHENG, M., QIAN, Y., LI, Q., GAO, P., LIU, Z., CHEN, H. y LI, X., 2020. Comparison of aniline removal by UV/CaO<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Degradation kinetics and mechanism. *Chemosphere* [en línea], vol. 255, pp.

- 1-9. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126983. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126983>.
85. YAN, Z., GU, Y., WANG, X., HU, Y. y LI, X., 2020. Degradation of aniline by ferrous ions activated persulfate: Impacts, mechanisms, and by-products. *Chemosphere* [en línea], vol. 268, pp. 1-32. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.129237. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129237>.
  86. ZABIHI-MOBARAKEH, H. y NEZAMZADEH-EJHIEH, A., 2015. Application of supported TiO<sub>2</sub> onto Iranian clinoptilolite nanoparticles in the photodegradation of mixture of aniline and 2, 4-dinitroaniline aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [en línea], vol. 26, pp. 315-321. ISSN 22345957. DOI 10.1016/j.jiec.2014.12.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.12.003>.
  87. ZAZOU, H., AFANGA, H., AKHOUAIRI, S., OUCHTAK, H., ADDI, A.A., AKBOUR, R.A., ASSABBANE, A., DOUCH, J., ELMCHAOURI, A., DUPLAY, J., JADA, A. y HAMDANI, M., 2019. Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], vol. 28, no. December 2018, pp. 214-221. ISSN 22147144. DOI 10.1016/j.jwpe.2019.02.006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.006>.
  88. ZHANG, T., ZHANG, J., LIU, S. y LIU, Z., 2008. A novel and complete gene cluster involved in the degradation of aniline by *Delftia* sp. AN3. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 20, no. 6, pp. 717-724. ISSN 10010742. DOI 10.1016/S1001-0742(08)62118-X.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Resumen de antecedentes

Investigador (es)	Tema	Materiales y equipos	Mediciones	Condiciones de experimento	Resultados
Xie et al., (2021)	Factores que influyen en el sistema de hierro esponja biológico similar al Fenton y su mecanismo de degradación de la anilina	<ul style="list-style-type: none"> <li>SFe (diámetro de 2-3 mm y densidad de 2.3-2.7 g/cm<sup>3</sup>).</li> <li>Lodo de planta de tratamiento de aguas residuales municipal de Qilihe.</li> <li>El agua residual de anilina (AN) simulada se compuso de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (160 mg/L), NaHCO<sub>3</sub> (80 mg/L), K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (24 mg/L), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (9.6 mg/L) y AN (140 mg/L).</li> <li>Matraz cónico.</li> <li>Termostado.</li> <li>Batidora eléctrica de seis mezcladores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de anilina.</li> <li>Concentración de Fe (II).</li> <li>Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>Concentración de •OH.</li> <li>Concentración de nitrógeno.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Remoción de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efecto de la dosis de SFe. Concentración de SFe=30, 60, 90, 120 y 150 g/L; pH inicial=4.5; concentración de lodo=2.8 g/L.</li> <li>Efecto de pH inicial. pH=4, 5, 6, 7 y 8; concentración de SFe=90 g/L; concentración de lodo=1.2 g/L.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La dosis apropiada de SFe en el sistema fue de 90 g/L. No indica la remoción de la anilina.</li> <li>El pH inicial apropiado en el sistema fue 4. No indica la remoción de la anilina.</li> </ul>
Monteagudo et al., (2020)	Degradación fotocatalítica de anilina por sistema solar/TiO <sub>2</sub> en presencia de los aceptores de electrones Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>TiO<sub>2</sub> P25.</li> <li>Anilina, C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>N (99%).</li> <li>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (98%).</li> <li>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30% p/v).</li> <li>p-benzoquinona</li> <li>Alcohol terc-butílico (99,7%).</li> <li>TiOSO<sub>4</sub>.</li> <li>Metanol (99,8%).</li> <li>Solución de glicerol (86-89%).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de anilina.</li> <li>Carbono orgánico total (TOC).</li> <li>Concentración de persulfato.</li> <li>Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>Concentración de oxígeno disuelto.</li> <li>pH.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema solar/TiO<sub>2</sub>. Efecto de la concentración inicial de TiO<sub>2</sub>: Concentración de TiO<sub>2</sub>=75, 125, 250 y 500 mg/L; pH=4; intensidad de la radiación solar (UVA)= 34–38 W/m<sup>2</sup>; temperatura= 33 °C; tiempo de reacción= 90 minutos.</li> <li>Sistema solar/TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema solar/TiO<sub>2</sub>. Concentración inicial de TiO<sub>2</sub>=125 mg/L y porcentaje de eliminación de COT de 82.54%.</li> <li>Sistema solar/TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. Dosis inicial de S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>= 300 mg/L y porcentaje de eliminación de COT de 91.5% en 60 minutos. pH=4.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor solar CPC.</li> <li>• Volumen: 3.5 L.</li> <li>• Caudal: 30 L/min.</li> <li>• Intensidad de radiación solar UV-A entre 30-43 W/m<sup>2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irradiancia solar. Variable Dependiente: de de</li> <li>• Porcentaje eliminación de COT.</li> </ul>	<p>Efecto de la dosis inicial de S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>:</p> <p>Dosis inicial de S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>=150, 300 y 450 mg/L; concentración de TiO<sub>2</sub>=125 mg/L; pH=4; intensidad de la radiación solar (UVA)= 30–43 W/m<sup>2</sup>; temperatura= 25-35 °C; tiempo de reacción= 90 minutos.</p> <p>Efecto del pH:</p> <p>pH=4, 7 y 10; concentración de TiO<sub>2</sub>=125 mg/L; Dosis inicial de S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>= 300 mg/L; intensidad de la radiación solar (UVA)= 41–42 W/m<sup>2</sup>; temperatura= 32-33 °C; tiempo de reacción= 90 minutos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema solar/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Efecto de la dosis inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Dosis inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=20, 40, 50, 250 y 500 mg/L; concentración de TiO<sub>2</sub>=125 mg/L; pH=4; intensidad de la radiación solar (UVA)= 40–43 W/m<sup>2</sup>; temperatura= 34 °C; tiempo de reacción= 90 minutos.</li> <li>• Sistema solar/TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema solar/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dosis inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> =40 mg/L y porcentaje de eliminación de COT de 85.3%.</li> <li>• Sistema solar/TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Porcentaje de eliminación máximo de COT de 91.54% para el sistema solar/TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> y 68.21% para el sistema solar/TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> </ul>
--	--	---	--	--	---

				Concentración de $\text{TiO}_2$ =125 mg/L; pH=4; dosis inicial de $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ = 300 mg/L; dosis inicial de $\text{H}_2\text{O}_2$ =40 mg/L; intensidad de la radiación solar (UVA)= 32–41 W/m <sup>2</sup> ; temperatura= 27-33 °C; tiempo de reacción= 90 minutos.	
Vásquez et al., (2020)	Degradación fotocatalítica de luz visible del azul de anilina por espuma de acero inoxidable recubierta con $\text{TiO}_2$ injertado con antocianinas de un sistema maqui y moras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espuma de acero inoxidable.</li> <li>• <math>\text{TiO}_2</math>.</li> <li>• Anilina.</li> <li>• Las antocianinas (pigmento) se obtuvieron mediante extracción líquido-líquido de jugos de maqui y moras.</li> <li>• Fuente de luz UV y luz visible. Otros no indica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Morfología del catalizador en un SEM.</li> <li>• Color.</li> <li>• pH.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de decoloración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradación fotocatalítica de anilina. Sistema: <math>\text{TiO}_2</math>-UV, 100 Ma, 75 Ma, 50 Ma, 25 Ma (25% v/v de delfinidina mezclado con 75% v/v de cianidina), 0 Ma; concentración de anilina=1 mM; pH=7 y 3. Utilizó la fuente de luz visible con las antocianinas. Inyección de oxígeno: el flujo no indica; pH=3.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradación fotocatalítica de anilina. A pH 7, el sistema <math>\text{TiO}_2</math>-UV eliminó alrededor del 12% del color en 120 min. El sistema espuma de <math>\text{TiO}_2</math>-antocianina (25 Ma) en luz visible se eliminó el 46% de anilina en 120 min a pH 7. A pH 3, La decoloración fue de alrededor de 51 y 55% en 120 min con 100 Ma y 25 Ma, respectivamente. La degradación de la anilina alcanzó el 95% para <math>\text{TiO}_2</math>-antocianina (25 Ma)-espuma de acero inoxidable /UV/oxígeno inyectado en 120 min, mientras que la degradación del 73% se obtuvo con <math>\text{TiO}_2</math>-UV en 120 min.</li> </ul>
Yan et al., (2020)	Degradación de anilina por iones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Persulfato de sodio (<math>\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8</math>, ≥99%, PS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la concentración de PS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración óptima de PS fue 8 mM, se logró la</li> </ul>

	ferrosos persulfato activado: Impactos, mecanismos y subproductos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidróxido de sodio (NaOH, <math>\geq 99\%</math>).</li> <li>• Ácido sulfúrico (<math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>, 95%-98%).</li> <li>• Ácido benzoico (BA, <math>\geq 99.9\%</math>).</li> <li>• Nitrato de sodio (<math>\text{NaNO}_3</math>, <math>\geq 99\%</math>).</li> <li>• Cloruro de sodio (<math>\text{NaCl}</math>, <math>\geq 99.8\%</math>).</li> <li>• Bicarbonato de sodio (<math>\text{NaHCO}_3</math>).</li> <li>• Sulfato ferroso heptahidratado (<math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math>, 98%).</li> <li>• Permanganato de potasio (<math>\text{KMnO}_4</math>, <math>\geq 99\%</math>).</li> <li>• Peróxido de hidrógeno (<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>, 30%).</li> <li>• Etanol (EtOH).</li> <li>• Alcohol terc-butílico (TBA).</li> <li>• Anilina (AN).</li> <li>• Fenol (98%).</li> <li>• Nitrobenceno.</li> <li>• Agua desionizada.</li> <li>• Frascos de vidrio marrón de 50 mL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbono orgánico total (TOC).</li> <li>• Intermedios producidos en la degradación de AN.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradación de la anilina.</li> </ul>	<p>Concentración de PS=0, 2, 5, 8 y 10 mM; concentración inicial de la anilina=0.1 mM; concentración de <math>\text{Fe}^{2+}</math>=2 mM; tiempo de reacción=8 minutos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la dosis de <math>\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> (<math>\text{Fe}^{2+}</math>). Concentración de <math>\text{Fe}^{2+}</math>=1-6 mM; concentración de PS=8 mM; concentración inicial de la anilina=0.1 mM; tiempo de reacción=8 minutos.</li> <li>• Efecto de pH inicial. pH=2.5, 3, 5, 7, 9 y 11; concentración de <math>\text{Fe}^{2+}</math>=4 mM; concentración de PS=8 mM; concentración inicial de la anilina=0.1 mM; tiempo de reacción=8 minutos.</li> </ul>	<p>remoción de la anilina del 97.73% después de 4 minutos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La dosis óptima de <math>\text{Fe}^{2+}</math> fue 4 mM, se logró la remoción de la anilina del 100% después de 8 minutos.</li> <li>• La degradación de AN fueron 100%, 95.06%, 92.99%, 78.63%, 58.74% y 30.86% cuando el pH inicial fue 2.5, 3, 5, 7, 9 y 11, respectivamente, después de 8 minutos.</li> </ul>
Jin et al., (2020)	Degradación fotocatalítica de anilina por nanomateriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math>.</li> <li>• <math>\text{AgNO}_3</math>.</li> <li>• <math>\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• Ortosilicato de tetraetilo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Carbono orgánico total (TOC).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimiento fotocatalítico de FSBAP. Evaluación de las condiciones:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La degradación de la anilina fueron 25.39%, 93.23% y 93.57% después de 150 minutos con</li> </ul>



	<p>magnéticos  <math>\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{SiO}_2</math>  <math>@ \text{BiO}_{1.8}</math>  <math>\cdot 0.04\text{H}_2\text{O} / \text{Ag}_3\text{PO}_4</math>  (FSBAP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcohol etílico.</li> <li>• Anilina.</li> <li>• Tercbutanol.</li> <li>• Etilendiamino tetraacetato disodio (EDTA-2Na).</li> <li>• Agua ultrapura.</li> <li>• Reactor de doble cuarzo.</li> <li>• Fuente de luz de 300 W (<math>\lambda &gt; 420</math> nm, luz visible).</li> <li>• Horno de vacío.</li> <li>• HPLC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH. Variable Dependiente:</li> <li>• Degradación de la anilina.</li> </ul>	<p>Oscuro+FSBAP, fotólisis  <math>\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{SO}_2</math>, <math>\text{Ag}_3\text{PO}_4</math>,  <math>\text{BiO}_{1.8} \cdot 0.04\text{H}_2\text{O}</math>,  <math>\text{BiO}_{1.8} \cdot 0.04\text{H}_2\text{O} / \text{Ag}_3\text{PO}_4</math> y  FSBAP; concentración de  anilina=10 mg/L;  concentración de  FSBAP=1.20 g/L;  temperatura=308 K.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la concentración de anilina.  Concentración de anilina= 10, 15, 20 y 30 mg/L; concentración de FSBAP=1.0 g/L.</li> <li>• Efecto de la dosis de fotocatalizador. Dosis de catalizador=0.4, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 g/L; concentración de anilina= 15 mg/L.</li> <li>• Efecto de la temperatura. Temperatura=293, 298, 303 y 308 K; concentración de anilina= 10 mg/L; concentración de FSBAP=1.2 g/L.</li> <li>• Efecto de pH inicial. pH=4, 5, 6, 7, 7.6, 9 y 10; concentración de anilina= 10 mg/L; concentración de FSBAP=1.2 g/L.</li> </ul>	<p><math>\text{BiO}_{1.8} \cdot 0.04\text{H}_2\text{O}</math>, <math>\text{Ag}_3\text{PO}_4</math> y <math>\text{BiO}_{1.8} \cdot 0.04\text{H}_2\text{O} / \text{Ag}_3\text{PO}_4</math> (BAP), respectivamente. La degradación de la anilina por <math>\text{Ag}_3\text{PO}_4</math> y BAP fue ligeramente mayor que FSBAP. Pero, el <math>\text{Ag}_3\text{PO}_4</math> era inestable y la degradación disminuye después de la fotocorrosión. El FSBAP es más adecuado para su reutilización que <math>\text{Ag}_3\text{PO}_4</math> o BAP.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La degradación de la solución de anilina de 10, 15, 20 y 30 mg/L fueron 80.67%, 78.86%, 76.21%, 74.26% y 63.76%, respectivamente.</li> <li>• La degradación de la solución de anilina para la dosis de catalizador de 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 g/L fueron 60.12%, 69.00%, 71.34%, 78.86% y 81.2%, respectivamente.</li> <li>• Las degradaciones aumentaron del 65.92% al 88.06%.</li> <li>• El orden de eficacia de degradación de la anilina fue pH 6 &gt; pH 7 &gt; pH 7.6 &gt; pH 9 &gt; pH 10 &gt; pH 5 &gt; pH 4.</li> </ul>
--	--	--	---	---	--

J. Liu et al., (2020)	Degradación de anilina por peroxidisulfato activado con compuesto magnético de óxidos de Fe-Mn: Eficiencia, estabilidad y mecanismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anilina (pureza≥99.5%).</li> <li>• K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (pureza≥99,5%)</li> <li>• Solución madre de dihidrocloruro de N- (1-naftil) etilendiamina.</li> <li>• Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.</li> <li>• FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O.</li> <li>• MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O.</li> <li>• Metanol anhidro.</li> <li>• Etilendiamino tetraacetato disodio (EDTA-2Na).</li> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>• NaOH.</li> <li>• Agua desionizada.</li> <li>• Matracas cónicos que contenían 50 mL de muestra.</li> <li>• Agitador de baño de aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• pH.</li> <li>• Temperatura.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de COT.</li> <li>• Degradación de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la dosis de PDS. Dosis de PDS=0.4, 0.8 1.6 y 2.4 mmol; pH inicial=5; temperatura=25 °C, la dosis de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>=0.5 g/L.</li> <li>• Efecto de la dosis de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Dosis de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1 y 1.3 g/L; pH inicial=5; dosis de PDS=2.4 mmol; temperatura=25 °C.</li> <li>• Efecto del pH inicial. pH inicial=3, 5, 7, 9 y 11; dosis de PDS=2.4 mmol; dosis de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>=1.3 g/L; temperatura=25 °C.</li> <li>• Efecto de la temperatura inicial. Temperatura inicial=10, 15, 20, 25 y 30 °C; pH inicial=5; dosis de PDS=2.4 mmol; dosis de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>=1.3 g/L.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dosis óptima de PDS fue 2.4 mmol, se logró la remoción de la anilina del 94.20% en 4 h.</li> <li>• La dosis óptima de MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> fue 1.3 g/L, se logró la remoción de la anilina del 99.01% en 4 h.</li> <li>• El pH inicial óptimo fue 5, se logró la remoción de la anilina del 92% en 4 h.</li> <li>• La temperatura inicial fue 30 °C, se logró la remoción de la anilina del 94% en 4 h.</li> </ul>
Antonio Durán et al., (2019)	Fotodegradación solar de anilina con compuestos rGO/TiO <sub>2</sub> y persulfato.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub> P25.</li> <li>• Anilina (99%).</li> <li>• Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (98%).</li> <li>• H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30% p/v).</li> <li>• Polvo de grafito.</li> <li>• El óxido de grafito (GO) se obtuvo a partir del polvo de grafito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Carbono orgánico total (TOC).</li> <li>• Determinación de radicales hidroxilo.</li> <li>• pH.</li> <li>• Irradiancia solar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema solar/rGO/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Concentración de TiO<sub>2</sub>=0.65-1.25 mg/cm<sup>2</sup>; pH=4; concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=250 mg/L; concentración de rGO=0, 2.5 y 5 % en peso; velocidad de rotación del tambor=0, 22.0, 44.1 y 62.8 rad/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema solar/rGO/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Concentración de rGO óptimo=2.5% en peso. velocidad de rotación del tambor= 44.1 rad/s. Cuando el catalizador es TiO<sub>2</sub> los radicales hidroxilo se generan inicialmente en gran cantidad y luego</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• El óxido de grafeno reducido (rGO) se obtuvo del GO y la deposición de <math>\text{TiO}_2</math> se logró mediante un proceso hidrotérmico.</li> <li>• Sodiomazida (<math>\text{NaN}_3</math>).</li> <li>• p-benzoquinona, metanol.</li> <li>• Terc-butanol.</li> <li>• Agua desionizada.</li> <li>• Reactor de tambor solar giratorio revestido con el método de pulverización con <math>\text{TiO}_2</math> o rGO/<math>\text{TiO}_2</math>.</li> <li>• Volumen: 6 L.</li> <li>• Dimensiones: 360x270x90 mm.</li> <li>• Soporte del disco giratorio de cuarzo.</li> <li>• Cuatro lámparas sumergidas UV-C Hg (254 nm) ubicadas en los tambores a lo largo del eje.</li> <li>• Velocidad de rotación: 4,6 rpm.</li> <li>• Operación: discontinuo.</li> <li>• Dos paneles fotovoltaicos monocristalinos de 310 W.</li> </ul>	<p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de COT.</li> <li>• Degradación de la anilina.</li> </ul>	<p>Utilizó rGO al catalizador inmovilizado en los tambores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema solar/UV/<math>\text{TiO}_2</math>/rGO/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>. Las condiciones son las mismas que lo anterior, la diferencia es que son dos etapas: i) etapa solar – 2 horas; ii) etapa solar/UV – 2 horas. La fuente UV son cuatro lámparas.</li> <li>• Sistema solar/<math>\text{TiO}_2</math>/ <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>. Condiciones iguales a las anteriores con la diferencia que la concentración de <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>=0, 150, 300, 500 y 800 mg/L; pH=3, 4, 7 y 10.</li> <li>• Sistema solar/UV-C/<math>\text{TiO}_2</math>/ <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>. Condiciones iguales a las anteriores con la diferencia que la concentración de <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>=0, 300, 500 y 800 mg/L.</li> </ul>	<p>disminuyen gradualmente. Pero, cuando se usa rGO/<math>\text{TiO}_2</math>, la concentración de radicales hidroxilo es inicialmente muy baja, pero aumenta progresivamente y afecta la degradación. El oxígeno disuelto (especialmente cuando se usa rGO/<math>\text{TiO}_2</math>) se reduce y forma radicales hidropéroxilo/superóxido que actúan en la degradación. El proceso degrada eficientemente la anilina, pero no mineraliza.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema solar/UV/<math>\text{TiO}_2</math>/rGO/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>. Mineralización (COT)=82.5%.</li> <li>• Sistema solar/<math>\text{TiO}_2</math>/ <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>. El uso de <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math> aumenta la degradación solo en un 25% en el mejor de los casos. A pH bajo (pH=4) favorece la degradación.</li> <li>• Sistema solar/UV-C/<math>\text{TiO}_2</math>/ <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>. Concentración de <math>\text{S}_2\text{O}_8^{2-}</math>= 800 mg/L.</li> </ul>
--	--	---	--	---	--

					Alto grado de degradación de la anilina (90%) en 20 minutos y mineralización en 120 minutos.
Gang et al., (2019)	Eliminación simultánea de anilina, antimonio y cromo por ZVI junto con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : Implicación para el tratamiento de aguas residuales textiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No indica los materiales.</li> <li>• Matraces erlenmeyer de 1000 mL.</li> <li>• Concentrador de mesa agitadora.</li> <li>• La muestra de aguas residuales textiles (TW) se tomó de un Textil local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Concentración de Sb.</li> <li>• Concentración de Cr.</li> <li>• Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>• Concentración de hierro de valencia cero (ZVI).</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de la anilina.</li> <li>• Remoción de Sb.</li> <li>• Remoción de Cr.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficacia de remoción de anilina, Sb y Cr por ZVI con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>• Efecto del sistema=ZVI, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y ZVI+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dosis de ZVI=0.1, 0.3, 0.5, 0.8 y 1.5 g/L; dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=2 mM; pH=3.</li> <li>• Efecto de la dosis de ZVI. Dosis de ZVI=0.5 g/L; dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=2 mM; pH=3.</li> <li>• Efecto de la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=0.5, 1.0, 2.0, 6.0 y 10.0 mM; dosis de ZVI=0.5 g/L; pH=3.</li> <li>• Efecto del pH inicial. pH=2, 3, 5 y 7; dosis de ZVI=0.5 g/L; dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=2 mM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La remoción de la anilina con ZVI, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y ZVI+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron 23.9%, 28.9% y 100%, respectivamente.</li> <li>• La dosis óptima de ZVI fue 0.5 g/L, se logró la remoción total de la anilina en 20 minutos.</li> <li>• La dosis óptima de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue de 2 mM, se logró la remoción total de la anilina en 600 s.</li> <li>• La anilina se removió por completo en 10 min a pH inicial de 2 y 3.</li> </ul>
A. Durán et al., (2018)	Degradación fotocatalítica de anilina utilizando un reactor de tambor giratorio autónomo con radiación artificial solar y UV-C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub> P25 (anatasa/rutilo=3.6/1 peso, área superficial=56 m<sup>2</sup>/g, impurezas que incluyen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y HCl inferiores al 0,81%).</li> <li>• Anilina (99%).</li> <li>• Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (98%).</li> <li>• H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30% p/v).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Carbono orgánico total (TOC).</li> <li>• Concentración de oxígeno.</li> <li>• Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Efecto del pH: pH=4 y 6. Efecto de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno: Concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=250, 500, 100 y 1500 mg/L.</li> <li>• Proceso UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Efecto sinérgico. pH=4; concentración inicial de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. pH=4. Concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=500 mg/L.</li> <li>• Proceso UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>: degradación del 85% de la anilina en 120 min y mineralización del 89% en 2 horas.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>.</li> <li>• <math>\text{NaOH}</math>.</li> <li>• Agua desionizada</li> <li>• El reactor utilizado es el mismo de que Antonio Durán et al. (2019).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de radicales hidroxilo.</li> <li>• Concentración de ácido 2-hidroxitereftálico.</li> <li>• pH.</li> <li>• Irradiancia solar. Variable Dependiente:</li> <li>• Porcentaje de mineralización (COT).</li> <li>• Porcentaje de degradación de la anilina.</li> </ul>	<p><math>\text{H}_2\text{O}_2=500</math> mg/L y concentración de <math>\text{TiO}_2=1.56</math> <math>\text{mg}/\text{cm}^2</math>.</p> <p>Sistemas evaluados: Solar, UV, <math>\text{TiO}_2</math>, <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>, Solar/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>, Solar/ <math>\text{TiO}_2</math>, UV/Solar/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>, Solar/<math>\text{TiO}_2</math>/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>, UV/Solar/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>/<math>\text{TiO}_2</math>.</p> <p>Efecto de las variables: pH:4 y 6.5, 500 mg/L de <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>, 1.25 <math>\text{mg}/\text{cm}^2</math> de <math>\text{TiO}_2</math>. Concentración de <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>:100, 250 y 500 mg/L, pH=4 y 1.25 <math>\text{mg}/\text{cm}^2</math> de <math>\text{TiO}_2</math>. Carga de <math>\text{TiO}_2</math>: 0.65, 1.25 y 1.56 <math>\text{mg}/\text{cm}^2</math>, pH=4 y 500 mg/L de <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>.</p> <p>Perfil de oxígeno disuelto relacionado con el consumo de <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>.</p> <p>Reutilización del catalizador.</p>	<p>UV/solar/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>/<math>\text{TiO}_2</math>: degradación del 100% de la anilina en 10 min y mineralización del 89% en 2 horas.</p> <p>Utilizar el sistema solar/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>/<math>\text{TiO}_2</math> en días soleados y UV/solar/<math>\text{H}_2\text{O}_2</math>/<math>\text{TiO}_2</math> en días nublados, el uso de lámparas UV incremento el precio de tratamiento.</p> <p>pH=4.</p> <p>Concentración inicial de <math>\text{H}_2\text{O}_2=250</math> mg/L.</p> <p>Carga de <math>\text{TiO}_2=1.56</math> <math>\text{mg}/\text{cm}^2</math>.</p> <p>Evaluar la posibilidad de oxígeno disuelto.</p> <p>Pérdida menor de eficiencia (&lt;2%) después de 5 ciclos de reacción usando el mismo catalizador sin regeneración (120 min cada uno). Este hecho confirma la viabilidad potencial del proceso.</p>
Ma et al., (2018)	Efecto sinérgico de las nanofibras Cu-ion y $\text{WO}_3$ sobre la degradación fotocatalítica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metatungstato de amonio.</li> <li>• Polivinilpirrolidona.</li> <li>• Rodamina B.</li> <li>• Anilina.</li> <li>• Cloruro de cobre (<math>\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización del catalizador (nanofibras compuestas de <math>\text{WO}_3/\text{Cu}</math> (II)).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto del catalizador. Catalizador=nanofibras puras de <math>\text{WO}_3</math> y nanofibras compuestas de <math>\text{WO}_3/\text{Cu}</math> (II)-2%. Concentración inicial de la anilina=5 mg/L;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de la anilina disminuyó de 5 mg/L a 0.728 mg/L (85.44%) y 1.32 mg/L (73.60%) después de 3 horas, para el catalizador nanofibras</li> </ul>

	mejorada de la Rodamina B y la solución de anilina.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lámpara de Xenón (300 W) de luz visible.</li> <li>• Agitador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> </ul> Variable Dependiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradación de la anilina.</li> </ul>	concentración catalizador=50 mg/150 mL.	puras de $\text{WO}_3$ y nanofibras compuestas de $\text{WO}_3/\text{Cu (II)}$ -2%, respectivamente.
Pirsaheb et al., (2017)	Degradación fotocatalítica de anilina a partir de soluciones acuosas bajo iluminación solar utilizando nanopartículas de Cr:ZnO inmovilizadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Óxido de zinc (<math>\text{ZnO}</math>).</li> <li>• Óxido de cromo (<math>\text{Cr}_2\text{O}_3</math>).</li> <li>• Hidróxido de sodio (<math>\text{NaOH}</math>).</li> <li>• n-butilamina.</li> <li>• Anilina.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor de cubo continuo de 1,5 L.</li> <li>• Bombas peristálticas.</li> <li>• Fuente de luz UV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Intensidad de luz UV.</li> <li>• Intensidad de la luz solar.</li> </ul> Variable Dependiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la concentración inicial de la anilina. Concentración inicial de la anilina=150, 200 y 250 mg/L, fuente de irradiación=luz solar; pH=9; tiempo de retención=6 h.</li> <li>• Efecto de pH inicial. pH inicial=5, 7, 9 y 12; concentración inicial de la anilina=150, 200 y 250 mg/L, fuente de irradiación=luz solar; tiempo de retención=6 h.</li> <li>• Efecto de tiempo de retención. Tiempo de retención=2, 4 y 6 horas; concentración inicial de la anilina=150, 200 y 250 mg/L, fuente de irradiación=luz solar; pH inicial=9;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la concentración inicial de la anilina de 150, 200 y 250 mg/L, la remoción de anilina fue 93%, 82% y 74%, respectivamente.</li> <li>• El mejor pH para eliminar la anilina fue 9.</li> <li>• A medida que aumenta el tiempo de retención hidráulica, aumenta la remoción de anilina. Por tanto, el tiempo óptimo de retención hidráulica fue 6 horas.</li> </ul>
Ahmadi et al., (2017)	Degradación oxidativa de anilina y benzotriazol sobre PAC @	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Fe}_3\text{O}_4</math>.</li> <li>• PAC.</li> <li>• <math>\text{PAC@Fe}^{\text{II}}\text{-Fe}_2^{\text{III}}\text{O}_4</math>.</li> <li>• Anilina (AN).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de AN.</li> <li>• Concentración de BTA.</li> </ul>	Utilizaron un diseño experimental con cuatro variables y cinco niveles y son las siguientes:	Los valores óptimos de dosis de catalizador, concentración inicial del contaminante, concentración de $\text{H}_2\text{O}_2$ y

	<p>FeII/Fe2III/O4: Un catalizador reciclable en un sistema heterogéneo tipo foto-Fenton.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzotriazol (BTA).</li> <li>• Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.</li> <li>• Recipiente de cuarzo cilíndrico de 500 mL.</li> <li>• Agitador.</li> <li>• Lámpara UV-C de 6 W.</li> </ul>	<p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de la anilina.</li> </ul>	<p>Dosis de catalizador: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 g/L.  Concentración inicial del contaminante: 40, 80, 120, 160 y 200 mg/L.  Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 y 9.0 mM.  Tiempo de reacción: 10, 30, 50, 70 y 90 minutos.</p>	<p>tiempo de reacción son 0.4 g/L, 80 mg/L, 7.0 mM y 70 minutos, respectivamente. A estas condiciones, la remoción de AN y BTA fue 93.8% y 99.8%</p>
<p>Szczepanik &amp; Słomkiewicz, (2016)</p>	<p>Fotodegradación de anilina en agua en presencia de halloysita activada químicamente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Halloysita de la mina a cielo abierto "Dunino" (DHal).</li> <li>• ComHal de superficie específica de 64 m<sup>2</sup>/g.</li> <li>• Polvo de TiO<sub>2</sub> (anatasa, 99,8%) de superficie específica de 11,4 m<sup>2</sup>/g.</li> <li>• TiO<sub>2</sub> P25 (80% de anatasa y 20% de rutilo) de superficie específica de 49 m<sup>2</sup>/g.</li> <li>• Anilina.</li> <li>• Agua desionizada.</li> <li>• El AHal se obtuvo del DHal, el cual se lavó, secó y trituro; luego la fracción magnética se separó. El DHal se secó, pulverizó, tamizó y se lavó con agua desionizada.</li> <li>• Reactor UV Heraeus de 700 cm<sup>3</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Análisis de DHal y AHal por fluorescencia de rayos X de dispersión de longitud de onda.</li> <li>• pH.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descomposición de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectro de absorción. pH=6, concentración inicial de anilina=40 mg/dm<sup>3</sup> y 300 minutos.  Fotocatálisis con AHal.  Fotocatálisis con TiO<sub>2</sub>.  Fotocatálisis con TiO<sub>2</sub> P25.  Fotocatálisis con ComHal.</li> <li>• Optimización de la concentración de AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25.  Concentración de AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25=0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 g/700 cm<sup>3</sup>, pH=6, concentración inicial de anilina=40 mg/dm<sup>3</sup> y tiempo de irradiación=30 y 300 minutos.</li> <li>• Comparación de la descomposición de anilina con fotocatalizadores ComHal, AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectro de absorción. Los productos de la fotocatálisis varían si se utiliza AHal, TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> P25 o ComHal.</li> <li>• Optimización de la concentración de AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25.  Máxima descomposición de la anilina después de 30 y 300 minutos de irradiación con 0.2 g/700 cm<sup>3</sup> para AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25.</li> <li>• Comparación de la descomposición de anilina con fotocatalizadores ComHal, AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25.  Descomposición promedio de anilina fue 50,3%, 64,7%, 60,2% y 65,4% para ComHal, AHal, TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> P25, respectivamente,</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lámpara de inmersión de Hg UV de baja presión TNN 15/32 (254 nm).</li> <li>• Temperatura del fotorreactor igual a <math>25 \pm 0,1</math> °C.</li> </ul>		<p>Concentración inicial de anilina=10, 20, 300 y 40 mg/dm<sup>3</sup>, concentración de AHal, TiO<sub>2</sub> o TiO<sub>2</sub> P25=0.2 g/700 cm<sup>3</sup>, pH=6 y tiempo de irradiación=180 minutos.</p>	<p>después de 300 minutos de iluminación UV.</p> <p>Mayor descomposición (superior al 70%) para la concentración inicial de anilina de 10 mg/dm<sup>3</sup>.</p>
Y. Liu et al., (2016)	<p>Degradación de anilina por reacción de Fenton heterogénea usando un catalizador complejo de oxalato de Ni-Fe</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anilina.</li> <li>• Ácido oxálico deshidratado.</li> <li>• Cloruro de níquel hexahidratado.</li> <li>• Sulfato ferroso heptahidratado</li> <li>• Peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).</li> <li>• Vasos de precipitación de vidrio de 150 mL.</li> <li>• Agitador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• Caracterización del catalizador.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia de remoción de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la temperatura de reacción. Temperatura=283, 293 y 303 K; dosis de catalizador = 0.4 g/L; concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=4 mmol/L; pH = 5.4.</li> <li>• Efecto de dosis de catalizador. Dosis de catalizador=0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 g/L; concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=4 mmol/L; temperatura=293 K; pH=5.4.</li> <li>• Efecto de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=2, 3, 4 y 5 mM; dosis de catalizador=0.2 g/L, temperatura=293 K; pH=5.4.</li> <li>• Cambio de pH durante la degradación de la anilina. pH inicial=3, 4, 5, 5.4, 6, 7 y 8; dosis de catalizador=0.2 g/L; concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=4 mM; temperatura=293 K.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de la anilina del 100% a las temperaturas de 283, 293 y 303 K después de 90 minutos. La degradación es más rápida a 303 K.</li> <li>• Remoción de la anilina del 100% a las dosis de catalizador de 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 g/L después de 90 minutos. La degradación es más rápida a 0.25 g/L.</li> <li>• Remoción de la anilina del 100% a la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 2, 3, 4 y 5 mM después de 45 minutos. La degradación es más rápida a 4 mM.</li> <li>• Las condiciones óptimas fueron la temperatura de 293 K, dosis de catalizador de 0.2 g/L y concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 4 mM.</li> <li>• Remoción de la anilina del 100% a pH inicial de 5.4 después de 35 minutos.</li> </ul>



<p>Zabihi-Mobarakeh &amp; Nezamzadeh-Ejhieh, (2015)</p>	<p>Aplicación de <math>\text{TiO}_2</math> soportado sobre nanopartículas de clinoptilolita iraní en la fotodegradación de una mezcla de anilina y 2,4-dinitroanilina en solución acuosa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{TiO}_2</math></li> <li>• Anilina.</li> <li>• 2,4-dinitroanilina.</li> <li>• NaOH.</li> <li>• HCl.</li> <li>• Titanil oxalato de amonio monohidrato <math>(\text{NH}_4)_2[\text{TiO}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]</math>.</li> <li>• Clinoptilolita (CP) de zeolita natural pertenecen a la región de Semnan, Irán.</li> <li>• Agua.</li> <li>• Pretratamiento de clinoptilolita y preparación de nanopartículas de clinoptilolita (NCP).</li> <li>• La incorporación de <math>\text{TiO}_2</math> a la zeolita.</li> <li>• Lámpara de mercurio de 30 W.</li> <li>• Bomba para inyección de aire.</li> <li>• No indica detalles del equipo utilizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración (absorbancia) de anilina (a 280 nm) y 2,4-dinitroanilina (a 360 nm).</li> <li>• Morfología del fotocatalizador NCP crudo y <math>\text{TiO}_2</math>-NCP.</li> <li>• DQO.</li> <li>• pH.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia de degradación de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de catalizador. Concentración de <math>\text{TiO}_2</math>-NCP=0.05, 0.1, 0.2 y 0.3 g/L; concentración de contaminantes=20 mg/L; pH=5.8.</li> <li>• pH. pH=3, 4.5, 5.8, 7 y 10.5; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>-NCP=0.1 g/L; concentración de contaminantes=10 mg/L.</li> <li>• Concentración de contaminantes. Concentración de contaminantes=5, 10, 15, 20 y 30 mg/L; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>-NCP=0.1 g/L; pH=5.8.</li> <li>• Zeolita. Catalizador/condición: CP, NCP, <math>\text{TiO}_2</math>-CP, <math>\text{TiO}_2</math>-NCP, <math>\text{TiO}_2</math>, Oscuro, UV. Concentración de contaminantes=10 mg/L; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>-NCP=0.1 g/L; pH=5.8.</li> <li>• Estudio de absorción UV-vis y DQO. t=0, 1, 2 y 6 horas.</li> <li>• Reutilización del fotocatalizador. 4 experimentos a concentración de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de la cantidad de catalizador. Concentración de <math>\text{TiO}_2</math>-NCP=0.1 g/L en 5 horas.</li> <li>• pH. pH=5.8 en 5 horas.</li> <li>• Concentración de contaminantes. Concentración de contaminantes=10 mg/L en y 5 horas.</li> <li>• Zeolita. La mayor actividad fotocatalítica fue del <math>\text{TiO}_2</math>-NCP por el aumento de la superficie efectiva de las nanopartículas. El segundo está entre el <math>\text{TiO}_2</math>-CP y <math>\text{TiO}_2</math>.</li> <li>• Estudio de absorción UV-vis y DQO. En 6 horas se alcanza el 21.5% de eficiencia de degradación.</li> <li>• Reutilización del fotocatalizador. A la temperatura de 450 °C, la anilina y 2,4 dinitroanilina se calcinan de la superficie del catalizador y se eliminan, así el catalizador está limpio y puede ser reutilizado.</li> </ul>
---	---	--	--	--	--


				contaminantes=10 mg/L; concentración de $\text{TiO}_2$ -NCP=0.1 g/L; pH=5.8 y t=6 horas. Temperatura de secado del catalizador=25, 200 y 450 °C	
Flores et al., (2015)	Remoción de colorantes textiles aplicando procesos fotoquímicos oxidativos (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /lana de acero comercial)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anilina (azul marino, naranja y rojo fuerte).</li> <li>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (60%).</li> <li>Lana de acero comercial (LAC).</li> <li>Sendos cristalizadores de 250 mL y 9.3 cm de diámetro.</li> <li>Fuente de luz UV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de color.</li> </ul> Variable Dependiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentaje de decoloración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efecto de la concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=0-165 mmol/L; concentración de LAC=0.1 g/L.</li> <li>Efecto de la masa inicial de LAC. Masa inicial de LAC=0-0.8 g/L; concentración inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=21 mmol/L.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Porcentaje de decoloración de 80% a una concentración inicial de 21 mmol/L.</li> <li>Porcentaje de decoloración de 95% a una masa inicial de LAC de 0.1 g/L.</li> <li>Para el sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/LAC y luz solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/LAC, el porcentaje de decoloración promedio es 93.0% y 32.3%, respectivamente.</li> </ul>
Huang et al., (2014)	Degradación de anilina catalizada por reacción heterogénea tipo Fenton usando óxido de hierro/SiO <sub>2</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anilina.</li> <li>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (35%).</li> <li>Óxido de hierro.</li> <li>Arena de cuarzo.</li> <li>Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>NaOH.</li> <li>Vaso de precipitación de 0.5 L.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de anilina.</li> <li>Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>Productos intermedios de la degradación.</li> </ul> Variable Dependiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>Degradación de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efecto de la dosis del catalizador SG. Dosis del catalizador SG=25, 50 y 100 g/L; pH=3; concentración inicial de la anilina =1.0 mM; concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=0.050 M; temperatura= 30 °C.</li> <li>Efecto del pH inicial. pH inicial=2, 3, 4, 6 y 9; dosis del catalizador SG=50 g/L; concentración inicial de la anilina =1.0 mM;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor degradación de la anilina (~73%) a la dosis del catalizador SG de 100 g/L en 160 minutos.</li> <li>Mayor degradación a pH inicial de 4</li> <li>Mayor degradación de la anilina a concentración inicial de la anilina de 0.2 mM.</li> </ul>

				<p>concentración de <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>= 0.050 M; temperatura= 30 °C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Efecto de la concentración inicial de la anilina.</li> </ul> <p>Concentración inicial de la anilina=0.2, 0.5, 1.0 y 2.0 mM; dosis del catalizador SG=50 g/L; pH=3; concentración de <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>= 0.050 M; temperatura= 30 °C.</p>	
Shahrezaei et al., (2012)	<p>Degradación fotocatalítica de anilina usando nanopartículas de <math>\text{TiO}_2</math> en un reactor fotocatalítico de circulación vertical</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\text{TiO}_2</math> P25 (80% de anatasa y 20% de rutilo) de superficie específica de 50 m<sup>2</sup>/g.</li> <li>Anilina.</li> <li><math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>.</li> <li>NaOH.</li> <li>Reactor vertical de 1200 mL y forma cónica en la parte inferior.</li> <li>Lámpara UV de mercurio de 400 W (200–550 nm) sumergida en el reactor.</li> <li>Bomba debajo del reactor</li> <li>Chaqueta de flujo de agua externa al reactor para la temperatura.</li> <li>Suministró flujo de aire al reactor a 3 L/ minuto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de anilina.</li> <li>Carbono orgánico total (TOC).</li> <li>Identificación de los compuestos en las aguas residuales reales antes y después de la degradación.</li> <li>pH.</li> <li>Turbidez.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eliminación de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de catalizador.</li> </ul> <p>Concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=0, 20, 40, 60 y 80 mg/L; concentración inicial de anilina=50 mg/L; pH=6; temperatura= 293 K.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH.</li> </ul> <p>pH= 2, 4, 6, 8, 10 y 12; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=60 mg/L; concentración inicial de anilina=50 mg/L; temperatura= 293 K.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatura.</li> </ul> <p>Temperatura= 293, 303, 313 y 323 K concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=60 mg/L; concentración inicial de anilina=50 mg/L; pH=6;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de catalizador.</li> </ul> <p>Concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=60 mg/L y eliminación de la anilina del 60% en 2 horas de irradiación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH.</li> </ul> <p>pH=12 y eliminación de la anilina del 76% en 2 horas de irradiación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatura.</li> </ul> <p>Temperatura=323 K y eliminación de anilina del 82% en 2 horas de irradiación.</p> <p>Para concentración inicial de 50 mg/L de anilina y las condiciones óptimas, determinadas, la mineralización fue 68.2% en 2 horas de iluminación.</p>

Anotai et al., (2012)	Oxidación de anilina por dióxido de titanio activado con luz visible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub> P25 (80% de anatasa y 20% de rutilo) de superficie específica de 43 m<sup>2</sup>/g y tamaño de partícula de 3.46 um.</li> <li>• TiO<sub>2</sub> activado por luz visible fue preparado por el método sol-gel (solo anatasa) de superficie específica de 139.6 m<sup>2</sup>/g y tamaño de partícula de 37 um.</li> <li>• Anilina.</li> <li>• HClO<sub>4</sub>.</li> <li>• NaOH.</li> <li>• Reactor (vaso de precipitación Pyrex de 250 mL).</li> <li>• Control de la temperatura.</li> <li>• Fuente de luz (400 a 700 nm), diodo emisor de luz (LED) de 3 W con una intensidad de luz de 0.1 mW/cm<sup>2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• pH.</li> <li>• Turbidez.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradación de la anilina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparación entre TiO<sub>2</sub> comercial y sintético. Catalizador: TiO<sub>2</sub> sintético y TiO<sub>2</sub> P25 comercial; concentración de anilina=0.05 mM; concentración de catalizador=1 g/L; pH=7.</li> <li>• pH. pH=4, 7 y 10; concentración de anilina=1 mM; concentración de catalizador=1 g/L; 3 W de luz azul.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparación entre TiO<sub>2</sub> comercial y sintético. Bajo iluminación con luz azul, el TiO<sub>2</sub> sintético exhibió actividad fotocatalítica mientras que no el TiO<sub>2</sub> P25. Esta fotoactividad fue más pronunciada bajo luz azul, verde, amarilla y roja, Influye el catalizador. La eficiencia de remoción de la luz azul fue mejor que la de la luz verde, amarilla y roja.</li> <li>• pH. pH=7.</li> </ul> <p>A medida que la concentración inicial de anilina aumenta de 0.047 a 0.80 mM, la eficiencia de degradación de la anilina disminuye de 72% a 18% después de la irradiación durante 4 h con 1 g/L de TiO<sub>2</sub>.</p>
Tang et al., (2010)	Eliminación fotoquímica de anilina en soluciones acuosas: Cambio de degradación fotocatalítica a recuperación de	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub> P25 (área superficial=49,6 m<sup>2</sup>/g).</li> <li>• Metanol.</li> <li>• Anilina (obtenida por destilación a presión reducida).</li> <li>• Agua destilada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de anilina.</li> <li>• pH.</li> </ul> <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conversión fotocatalítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración inicial de anilina. Concentración inicial de anilina=0.02, 0.5 y 3 mmol/L; concentración de TiO<sub>2</sub>=0.1 g/L; pH=4.</li> <li>• pH.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando la concentración de anilina es menor a 0.02 mmol/L se degrada la anilina. En 0.5 mmol/L, se forman el nitrosobenceno y luego azobenceno. Y en 3.0</li> </ul>

	polimerización foto-mejorada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluciones diluidas de HCl y NaOH (0,1 mol/L).</li> <li>• Reactor de 250 mL.</li> <li>• Agitador magnético.</li> <li>• Lámpara UV de 20 W (máx 254 nm).</li> </ul>	(eliminación de la anilina).	<p>pH=3, 7 y 11; concentración inicial de anilina=0.05 mmol/L; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=0.1 g/L.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anión: <math>\text{HCO}_3^-</math>. Concentración de <math>\text{HCO}_3^-</math>=0 y 40 mmol/L; concentración inicial de anilina=0.05 mmol/L; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=0.1 g/L; pH=7.</li> <li>• Anión: <math>\text{F}^-</math>. Concentración de <math>\text{F}^-</math>=0 y 8 mmol/L; concentración inicial de anilina=0.05 mmol/L; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=0.1 g/L; pH=7.</li> <li>• Anión: Cr(VI). Concentración de Cr(VI)=0 y 0.2 mmol/L; concentración inicial de anilina=0.05 mmol/L; concentración de <math>\text{TiO}_2</math>=0.1 g/L; pH=7.</li> </ul>	<p>mmol/L, se tiene oligómeros de anilina.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conversión fotocatalítica para pH 3, 7 y 11 de 38%, 79% y 96%, respectivamente.</li> <li>• La velocidad de degradación aumentó significativamente debido al anión <math>\text{HCO}_3^-</math>.</li> <li>• La velocidad de degradación aumentó significativamente debido al anión <math>\text{F}^-</math>, pero su toxicidad es desfavorable.</li> <li>• La velocidad de degradación aumentó significativamente debido al anión Cr(VI).</li> </ul>
--	------------------------------	---	------------------------------	--	---

## ANEXO 2: Fichas de análisis de contenido

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>	
<b>Título:</b>		
Año de publicación:	Lugar de publicación:	Páginas del contenido extraído:
Tipo de investigación:		Autor (es):
Palabras clave:		
Cuales son principales aspectos en la degradación fotocatalítica de la anilina		
Efectos de la fotocátalisis homogénea y heterogénea de la anilina		
Resultados		
Conclusiones		



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, MEDINA ROJAS REBECA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Degradación Fotocatalítica de la Anilina en el Tratamiento de Aguas Residuales Textiles", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
MEDINA ROJAS REBECA <b>DNI:</b> 41891272 <b>ORCID</b> 0000-0001-9367-0801	Firmado digitalmente por: REMEDINAR el 03-07-2021 23:51:54

Código documento Trilce: INV - 0245132